(Aus dem Maschinenlaboratorium des Landw. Instituts zu Halle a. S.)

Beiträge zur Ausbildung der Kraftmesser

I. Teil

Habilitationsschrift

durch welche

mit Zustimmung der Philosophischen Fakultät

der

Kgl. vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

zu seiner

am Sonnabend, den 8. Juli 1911 von 12—1 Uhr

in der Aula der Universität

zu haltenden

Antrittsvorlesung

„Die neuere Entwicklung der Motor-Pflüge"

ergebenst einladet

Dipl.-Ing. Dr. phil. **Rudolf Bernstein**
Assistent a. d. Masch.-Abt. des Landw. Instituts.

Halle a. S.

(Aus dem Maschinenlaboratorium des Landw. Instituts zu Halle a. S.)

Beiträge zur Ausbildung der Kraftmesser

I. Teil

Habilitationsschrift

durch welche

mit Zustimmung der Philosophischen Fakultät

der

Kgl. vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

zu seiner

am Sonnabend, den 8. Juli 1911 von 12—1 Uhr

in der Aula der Universität

zu haltenden

Antrittsvorlesung

„Die neuere Entwicklung der Motor-Pflüge"

ergebenst einladet

Dipl.-Ing. Dr. phil. **Rudolf Bernstein**
Assistent a. d. Masch.-Abt. des Landw. Instituts.

Halle a. S.

Vorwort.

Im folgenden berichtet Verfasser über einige Arbeiten an registrierenden Zugkraftmessern, wie sie zur Bestimmung des Zugwiderstandes von Feldbearbeitungsgeräten benutzt werden. Ein erster Abschnitt[1]) behandelt den Papiervorschubmechanismus an solchen registrierenden Kraftmessern, bei denen die Bewegung des Registrierpapieres der Geschwindigkeit des gezogenes Gerätes proportional vor sich gehen soll. Das hierfür meist benutzte Bodenlaufrad wurde auf seine Brauchbarkeit hin untersucht; für den Übertragungsmechanismus, der bisher in einer kinematisch nicht einwandfreien Form benutzt wurde, ist eine korrekte Konstruktion angegeben.

In einem zweiten Abschnitt[2]) ist die Frage der selbsttätigen Integration behandelt, ein Gegenstand, der für Kraftmessungen an landwirtschaftlichen Maschinen eine ganz besondere Bedeutung hat, weil man dabei meistens infolge der stark schwankenden Arbeitswiderstände ein sehr unregelmässig gestaltetes und schwer auswertbares Diagramm erhält. Das Problem ist zunächst an dem Dynamograph von Burg, dessen in Polarkoordinaten geschriebenes Diagramm eine zuverlässige Auswertung bisher überhaupt nicht gestattete, in praktisch befriedigender Weise gelöst worden.[3]) Da das Instrument von Burg infolge der ihm eigenen Kraft-Zeit-Registrierung nicht völlig einwandfrei ist, so wird ein neues Dynamometer angegeben, das die Anwendung der Integriervorrichtung auch bei einer Kraft-Weg-Registrierung gestattet.

1) Zugleich erschienen in Heft 1 der Mitteilungen des Verbandes Landw. Maschinen-Prüfungs-Anstalten (Verlag v. P. Parey, Berlin) 1911, S. 7.

2) Erscheint zugleich in Heft 3 gen. Zeitschrift S. 89.

3) Die Anregung dazu erhielt der Verfasser durch die Mitarbeit an Untersuchungen, die Herr Prof. Dr. Martiny-Halle über die Auswertbarkeit der Burgschen Diagramme anstellte. S. „Zugkraftmessungen an Bodenbearbeitungsgeräten“ gen. Zeitschr., Heft 2, Jahrg. 1911 S. 64.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544701_0096

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Über den durch ein Laufrad bewirkten Papiervorschub an registrierenden Zugkraftmessern 1
1. Das Laufrad 1
2. Das Universalgelenk 6
3. Das Kegelradgelenk 8
4. Die Nebenbewegungen im Laufradmechanismus 9
5. Vergleichsversuche mit Kreuz- und Kegelradgelenk 11
Zusammenfassung 14

II. Ein Integrator für den Kraftmesser von Burg und ein neuer integrierender Kraftmesser mit Laufrad- oder Uhrwerksantrieb 15
A. Der Integrator für den Kraftmesser von Burg 15
Die Theorie des Integrators 17
Konstruktion 21
Besonderheiten der Konstruktion 23
Die Eichung 26
Zugversuche 27
B. Ein integrierender Zugkraftmesser mit Laufrad- oder Uhrwerksantrieb . 32

Sonderabdrücke aus den
„Mitteilungen des Verbandes landwirtschaftl. Maschinen-Prüfungs-Anstalten“
Verlag von P. Parey, Berlin.

Über den durch ein Laufrad bewirkten Papiervorschub an registrierenden Zugkraftmessern.

Von Dipl.-Ing. Dr. phil. Rudolf Bernstein in Halle a. S.

(Nachdruck verboten.)

1. Das Laufrad.

Da es sich bei Zugkraftmessungen meistens um die Bestimmung der mittleren Zugkraft handelt, so muss an registrierenden Kraftmessern, bei denen sich der Ausschlag des Instrumentes als Ordinate auf einem bewegten Papierstreifen aufzeichnet, die Papierbewegung proportional der Vorwärtsbewegung des gezogenen Gerätes stattfinden, wenn überhaupt die korrekte Bestimmung eines Mittels möglich sein soll.

Um das zu erreichen, hat man in der Regel ein Transportrad benutzt, das am Boden abläuft und seine Drehung auf das Papier überträgt. Wie es scheint, hat man aber bisher nicht untersucht, ob diese einfache Methode auch wirklich zuverlässige Resultate ergibt. Es wäre nämlich möglich, und ist sogar von vornherein anzunehmen, dass das Transportrad nicht vollkommen am Boden abrollt, sondern dass es gleichzeitig, mehr oder weniger schlüpft. Wenn nun diese Schlüpfung innerhalb einer Messung grossen Schwankungen unterworfen ist, so kann die Übertragung des zurückgelegten Weges auf das Papier vollkommen gefälscht werden. Wenn etwas Derartiges in erheblichem Masse der Fall wäre, so müsste man das Transportrad zum mindesten in seiner jetzigen Gestalt verwerfen.

Im vorigen Jahre sind nun an der Maschinen-Prüfungsstation in Halle durch Herrn Prof. Martiny unter Assistenz des Verfassers eine grosse Anzahl von Zugkraftmessungen vorgenommen worden, deren Resultate eine nachträgliche Kontrolle der Arbeitsweise des Laufrades wenigstens in einem gewissen Umfange gestatten. Es wurde nämlich bei allen Versuchen die Entfernung des Punktes, an dem das Registrierwerk eingeschaltet, von dem, an dem es ausgeschaltet werden sollte, genau festgelegt, so dass es möglich war, die während der Messung abgelaufene Papierlänge mit dem zurückgelegten Wege zu vergleichen. Ausserdem wurde die abgesteckte Strecke mit dem zu untersuchenden

Tabelle I.

Nr.	Art des Gerätes und des Bodens	Hinfahrt h Rückfahrt r Arbeit a leer l	Weg, gemessen *m*	Diagrammlänge *mm*	Papiervorschub in *mm* auf 1 *m* Weg: eingestellt	Papiervorschub in *mm* auf 1 *m* Weg: tatsächlich	Verhältnis des tatsächlichen zum eingestellten Vorschub	Fahrgeschwindigkeit des Gerätes *m*/Sek.
1	Grasmäher I	h. a.	76,4	337	5	4,41	0,88	1,2
2	mässig feuchte	r. l.	76,4	332	5	4,35	0,87	—
3	Wiese	h. l.	76,4	331	5	4.33	0,87	—
					Mittel . . .		0,87 ± 0,003	—
4	Grasmäher II . . .	h. a.	77,4	320	5	4,14	0,83	—
5	wie oben	h. l.	77,4	320	5	4,14	0,83	—
6	„	h. l.	77,4	316	5	4,08	0,82	—
					Mittel . . .		0,83 ± 0,003	—
7	Drillmaschine . . .	h. a.	210	1749	10	8,32	0,832	—
8	humoser Sandboden.	r. a.	380	3223	10	8,50	0,850	—
					Mittel . . .		0,841 ± 0,009	—
9	Kartoffelernter . . .	h. a.	80,5	282	5	3,51	0,702	1,2
10	mittlerer	r. l.	80,5	319	5	3,97	0,794	0,97
11	humoser Sandboden.	h. l.	80,5	300	5	3,74	0,748	1,07
					Mittel . . .		0,745 ± 0,032	—
12	Egge	h	180	676	5	3,76	0,752	0,97
13	„	r	180	687	5	3,82	0,764	0,94
					Mittel . . .		0,758 ± 0,006	—
14	Egge	—	180	699,5	5	3,87	0,774	1,11
15	Egge	h	180	699	5	3,87	0,774	1,01
16	„	r	180	695	5	3,86	0,772	0,91
					Mittel . . .		0,773 ± 0,001	—
17	Wendepflug I . . .	h	210	961	5	4,56	0,912	—
18	Weizenstoppel . . .	r	210	950	5	4,52	0,904	1,23
					Mittel . . .		0,908 ± 0,004	—
19	derselbe	h	194,4	840	5	4,32	0,862	1,02
20	humoser sand. Lehmboden, mittelfeucht	r	193,5	822	5	4,22	0,844	1,10
					Mittel . . .		0,853 ± 0,009	—

Tabelle I.

Nr.	Art des Gerätes und des Bodens	Hinfahrt h Rückfahrt r Arbeit a leer l	Weg, gemessen *m*	Diagrammlänge *mm*	Papiervorschub in *mm* auf 1 *m* Weg: eingestellt	Papiervorschub in *mm* auf 1 *m* Weg: tatsächlich	Verhältnis des tatsächlichen zum eingestellten Vorschub	Fahrgeschwindigkeit des Gerätes *m*/Sek.
21	Sackscher Pflug Boden wie vorher .	—	193,5	841	5	4,37	0,874	1,06
22	Wendepflug I . . .	h	52,5	225	5	4,30	0,860	—
23	„ . . .	r	52,5	215	5	4,10	0,820	
					Mittel . . .		0,840 ± 0,020	—
24	Sackscher Pflug II, Boden wie vorher .	—	52,5	229	5	4,37	0,874	—
25	Federzahn - Kultivator I	h	80	333	5	4,15	0,830	—
26	mittl. humoser Sandboden	r (l)	80	339	5	4,22	0,844	1,01
					Mittel . . .		0,837 ± 0,007	—
27	„	h	80	319	5	3,97	0,794	0,99
28	„	r (a)	80	307	5	3,83	0,766	1,06
					Mittel . . .		0,780 ± 0,014	—
29	Federzahn - Kultivator II	h	80	276	5	3,44	0,688	1,14
30	Boden wie vorher. .	r (l)	80	274	5	3,42	0,684	—
					Mittel . . .		0,686 ± 0,002	—
31	„	h	80	281	5	3,50	0,700	0,93
32	„	r (a)	80	(259,5)	5	(3,23)	(0,646)	0,86
					Mittel . . .			—
33	Federzahn - Kultivator III	h	80	345	5	4,31	0,862	1,48
34	anderer Acker derselben Qualität . .	r (l)	80	345	5	4,31	0,861	1,50
					Mittel . . .		0,862 ± 0,000	—

Tabelle I.

Nr.	Art des Gerätes und des Bodens	Hinfahrt h Rückfahrt r Arbeit a leer l	Weg gemessen *m*	Diagrammlänge *mm*	Papiervorschub in *mm* auf 1 *m* Weg eingestellt	Papiervorschub in *mm* auf 1 *m* Weg tatsächlich	Verhältnis des tatsächlichen zum eingestellten Vorschub	Fahrgeschwindigkeit des Gerätes *m*/Sek.
35	Federzahn-Kultivator III	h } a	80	309	5	3,85	0,770	1,30
36	anderer Acker derselben Qualität	r } a	80	305	5	3,81	0,762	1,45
					Mittel . . .		0,766 ± 0,004	—
37	Federzahnk. IV. . .	h } l	80	345	5	4,31	0,862	1,40
38	Boden wie vorher . .	r } l	80	346	5	4,33	0,866	1,48
					Mittel . . .		0,864 ± 0,002	—
39	„	h } a	80	—	5	—	—	—
40	„	r } a	80	298	5	3,73	0,746	1,43
41	Federzahnk. II . . .	h } a	80	287,5	5	3,59	0,718	—
42	Boden wie vorher . .	r } a	80	293	5	3,66	0,722	1,36
					Mittel . . .		0,720 ± 0,002	—
43	Federzahnk. I . . .	h } a	80	316	5	3,95	0,790	1,36
44	Boden wie vorher . .	r } a	80	310	5	3,88	0,776	1,43
					Mittel . . .		0,783 ± 0,007	—
45	Federzahnk. V . . .	h } a	80	297	5	3,71	0,742	—
46	Boden wie vorher . .	r } a	80	298	5	3,73	0,746	—
					Mittel . . .		0,744 ± 0,002	—

Gerät stets einmal hin und einmal zurück befahren, wobei die bearbeiteten Streifen dicht nebeneinander lagen. Diese zwei Messungen wurden bei arbeitendem und öfters auch bei leergehendem Gerät ausgeführt. Es mag indessen ausdrücklich bemerkt werden, dass während der Versuche an eine Verwertung der Resultate im Sinne der vorliegenden Ausführungen nicht gedacht wurde. Die im folgenden wiedergegebenen Zahlen sind also ohne eine besondere, den Zweck berücksichtigende Vorsicht gewonnen. Der Umstand aber, dass die gleiche Strecke mit dem gleichen und gleich eingestellten Gerät zweimal befahren wurde, kam der Verwendbarkeit der Resultate besonders zu-

gute. Denn hierbei war der Einfluss, den das Gerät und seine Einstellung oder den eine wechselnde Bodenoberfläche hätte haben können, ausgeschaltet.

In Tabelle I ist das Versuchsmaterial zusammengestellt. Die Resultate sind nach den untersuchten Geräten geordnet, es ist vermerkt, ob die abgesteckte Strecke hin oder zurück, bei arbeitendem oder bei leer gehendem Gerät befahren wurde. Ferner ist die Länge der Strecke und die Länge des Diagramms angegeben. Die Zahl für den eingestellten Papiervorschub besagt, um wieviel Millimeter sich das Papier weiterbewegen müsste, wenn das Laufrad auf einer Strecke von 1 *m* genau, ohne zu gleiten, abrollen würde, während unter „tatsächlich" die Zahl wiedergegeben ist, die man aus der Division der Diagrammlänge durch den gemessenen Weg erhält. In der 8. Spalte steht der Quotient aus dem tatsächlichen und dem eingestellten Vorschub, eine Zahl, die man als „Wirkungsgrad" des Vorschubmechanismus bezeichnen könnte und in der das für die vorliegende Betrachtung Wesentliche enthalten ist.

Wie man sieht, ist der „Wirkungsgrad" auch nicht annähernd gleich 1, wie das eigentlich sein sollte. Das Laufrad hat, wie man auch sagen könnte, eine ganz beträchtliche „Schlüpfung", — als Schlüpfung wird man die Abweichung des Wirkungsgrades gegen 1 bezeichnen.

Die Hauptfrage ist nun, ob der Wirkungsgrad für die einzelnen Messungen konstant bleibt. Allgemein ist das sicher nicht der Fall. Vergleicht man aber den beim Hingang eines Gerätes erhaltenen Wirkungsgrad mit dem für den Rückgang, so zeigt sich, dass diese Zahlen mit einer Ausnahme, bei der am Diagramm deutlich eine Störung des Vorschubs festgestellt werden konnte, sehr gut übereinstimmen. Dieser Umstand ist entscheidend. Man braucht keine Übereinstimmung des Wirkungsgrades zwischen ganz getrennten Versuchen. Es ist nur notwendig, dass derselbe auf ein und derselben Versuchsstrecke konstant bleibt, dass für 1 *m* Weg stets das gleiche Stück Papier abgewickelt wird, dass also das Diagramm keine Verzerrung erleidet. Man wird aber aus den Versuchen den Schluss ziehen dürfen, dass bei dem gleichen und gleich eingestellten Gerät auf demselben Boden der Wirkungsgrad bzw. die Schlüpfung des Laufrades konstant ist.

Ein anderer Boden, ein anderes Gerät, auch eine veränderte Einstellung geben einen anderen Wirkungsgrad. Der letzte Punkt, der Einfluss der Einstellung des Gerätes, möge noch besonders betrachtet werden. Aus den Versuchen 9—11 und 25—46 ergibt sich, dass bei Leerlauf des Gerätes ein erheblich anderer Wirkungsgrad vorhanden ist, als beim Arbeitsgang, und zwar ergeben der Versuche 9—11, 25—28, 33—40 für den Leerlauf einen grösseren Wirkungsgrad. Die Versuchsresultate von 27 und 28 werden noch durch die mit ihnen gut übereinstimmenden Werte von 43 und 44 gestützt. Umgekehrt zeigen die

Versuche 29—31 (der Wert 32 scheidet aus, weil hier, wie auch am Diagramm, konstatiert werden konnte, der Papiervorschub teilweise versagt hatte) und in Ergänzung dazu die Versuche 41 und 42 für den Arbeitsgang einen grösseren Wirkungsgrad als für den Leerlauf. Eine Ursache dieser Erscheinung ist höchstwahrscheinlich in der Bau-

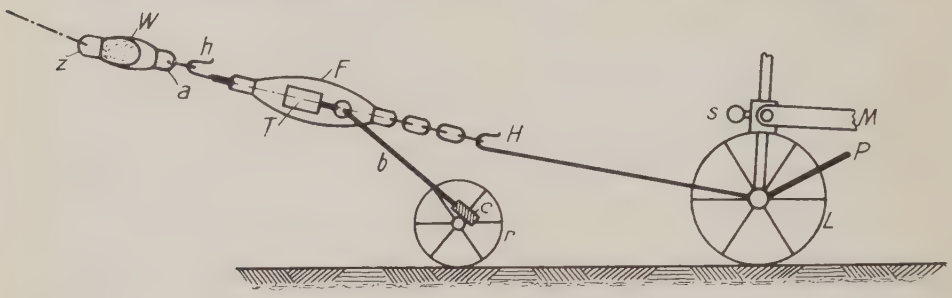


Abb. 3. Kraftmesser an einer Vorderkarre mit langer Hakenschiene bei der Arbeit.

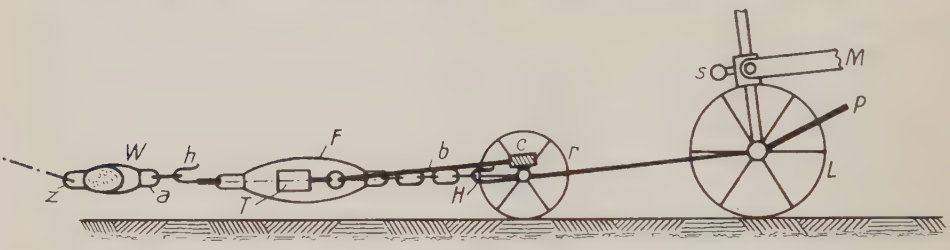


Abb. 4. Kraftmesser an einer Vorderkarre mit langer Hakenschiene bei Leergang.

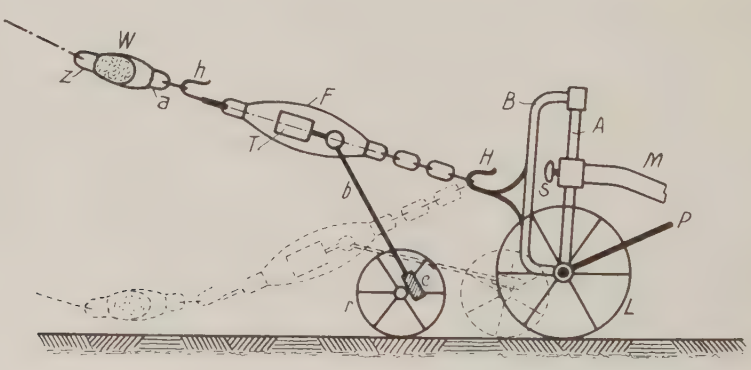


Abb. 5. Kraftmesser an einer Vorderkarre mit festem Haken bei Arbeit und Leergang.

art der benutzten Geräte einerseits, und andererseits in der Konstruktion des Kraftmessers zu suchen.

2. Das Universalgelenk.

Bei allen Versuchen wurde der Zugkraftmesser von Sack-Nachtweh benutzt. Derselbe überträgt bekanntlich die Laufradbewegung durch eine schwingbare Welle auf die Trommelachse. Die Schwingbarkeit wird, wie das bisher wohl bei allen derartigen Zugkraftmessern

der Fall war, durch ein Universalgelenk herbeigeführt. Nun ist es eine bekannte und leichtverständliche Tatsache, dass Universalgelenke einen um so grösseren Kraftverlust hervorrufen, je grösser der Knickungswinkel ist, unter dem die durch das Gelenk verbundenen Wellenstümpfe zusammenstossen. Man kann ferner annehmen, dass die Schlüpfung des Laufrades um so grösser wird, je grösser der Kraftaufwand ist, der zum Drehen des Registrierwerkes gehört. Unter dieser Voraussetzung lässt sich das beobachtete Verhalten leicht erklären. In Abb. 3 und 4 ist der Kraftmesser schematisch so wiedergegeben, wie er bei der Messung gebraucht wird, eingehängt zwischen die Zugwage und den Zughaken des Gerätes. Das Gerät ist dargestellt durch die Vorderkarre eines Federzahnkultivators von der Konstruktion der bei den Versuchen 25—28, 33—40 und 43—44 benutzten Geräte, und zwar zeigt Abb. 3 die Lage des Kraftmessers bei Arbeitsgang, Abb. 4 die Lage bei Leergang, d. h. bei ausgehobenen Zinken.

Wie man sieht, ist im ersten Falle das Universalgelenk stark geknickt, im zweiten Falle dagegen fast gestreckt. Der Beobachtung entsprechend ergibt sich daraus für die Arbeit eine grössere Schlüpfung als für den Lehrgang.

Abb. 5 zeigt den Kraftmesser vor einer Vorderkarre nach Art des Kultivators II aus Versuchen 29—32 und 41—42. Danach ist die Knickung des Gelenkes bei Leergang ebenso gross, oder grösser als bei Arbeitsgang, so dass sich das entgegengesetzte Verhalten wie vorher ergibt. Die Beobachtung bestätigt dies. Die Schlüpfung ist bei Leergang grösser, als bei Arbeitsgang, die Differenz ist erheblich geringer, als vorher.

Bei den Versuchen 9—11 handelt es sich um einen Kartoffelernter der Graf M ü n s t e r schen Bauart, bei dem durch Ausheben des Schares das hintere Ende der Maschine gehoben und dementsprechend das vordere Ende mit dem Zughaken gesenkt wird. Das entspricht dem Vorgang, der in Abb. 3 und 4 gekennzeichnet ist, und in der Tat liefert auch die Beobachtung das gleiche Resultat.

Das Universalgelenk erscheint also hiernach als ein für den vorliegenden Zweck nicht ganz einwandsfreier Konstruktionsteil. Es besitzt aber noch eine Schwäche, die erheblich schwerer wiegt als die eben erörterte. Es ist dies die Ungleichmässigkeit der Bewegungsübertragung, die schon bei mässiger Knickung sehr erheblich ist. Hat nämlich die treibende Welle die konstante Winkelgeschwindigkeit W_0 und wird die Winkelgeschwindigkeit der getriebenen Welle mit W_1, der Knickungswinkel des Gelenkes (als solcher möge der spitze Winkel betrachtet werden) mit α bezeichnet, so hat auf einer Umdrehung die getriebene Welle eine grösste Geschwindigkeit

$$W_{max} = \frac{W_0}{cos}$$

und eine kleinste

$$W_{min} = W_0 \cdot cos\ \alpha$$

so dass

$$W_{min} = W_{max} \cdot cos\ ^2\alpha$$

ist. Ist α gleich 30°, so wird

$$W_{min} = \frac{3}{4} W_{max}$$

bei α gleich 45°, wird sogar

$$W_{min} = \frac{1}{2} W_{max}$$

Das Minimum und das Maximum treten wechselweise nach $^1/_4$ Umdrehung der Wellen auf. Bei dem hier benutzten Kraftmesser war nun die Konstruktion derart, dass 12 Umdrehungen des Laufrades 1 Umdrehung der Gelenkwelle und 1 bzw. $^1/_2$ Umdrehung der Papiertrommel bewirkten, was einem Papiervorschub von 120 bzw. 60 *mm* entsprach.

Der Papiervorschub wird also innerhalb einer Strecke von 30 bzw. 15 *mm* schon bei dem mässigen Knickungswinkel von 30° um 25 % schwanken. Der benutzte Kraftmesser liess eine maximale Knickung von 55° zu. Es wurde an ihm der Papiervorschub festgestellt, der einer Umdrehung des Rades bei den verschiedenen Stellungen des Gelenkes entsprach. Bei einer halben Umdrehung des letzteren, die 6 Umdrehungen des Laufrades entsprach, ergaben sich für jede Umdrehung des Rades nacheinander folgende Werte

1) bei gestreckter Lage: 10, 10, 10, 9,5, 10, 9,5 *mm*
2) bei maximal geknickter Lage, d. h. einem Winkel von 55° 6, 9, 13, 14, 9,5, 7,5 *mm*.

Hiernach ist

$$W_{min} = W_{max} \cdot 0{,}33.$$

Die dem Winkel von 55° entsprechende noch ungünstigere Beziehung gilt naturgemäss nur für zwei Punkte. Indessen ist das Versuchsresultat schon genügend, um das Kreuzgelenk als ganz unbrauchbar erkennen zu lassen.

3. Das Kegelradgelenk.

Eine Gelenkverbindung, die von den gerügten Mängeln frei ist, lässt sich in einfacher Weise mit Hilfe von Kegelrädern herstellen. Abb. 6 zeigt ein Schema der Vorrichtung im Grundriss. Das Laufrad L überträgt eine Drehung durch das Kegelradpaar K_1 auf die Welle W und von da durch das Kegelradpaar K_2 auf die Schnecke S. Durch diese wird die Bewegung, ins Langsame übersetzt, auf die Papiertrommel T geleitet. Die Achse der Schnecke hat man sich mit der Trommelachse im Kraftmesserkörper gelagert zu denken. Ferner gehört zu der Vorrichtung ein Haltearm, der um die Achse der Schnecke und des letzten Kegelrades (4) schwingbar befestigt ist. Derselbe trägt den Lagerkörper für das Laufrad und das Kegelradpaar K_1 und einen zweiten Körper für ein Lager der Welle W am Kegelradpaar K_2.

Der beschriebene Mechanismus überträgt offenbar die Laufradbewegung ganz unabhängig von der Neigung, die die Welle W gegen die Trommelachse besitzt, stets gleichförmig und unter gleichem Widerstande.

Auf den ersten Blick scheint die Vorrichtung allerdings gegenüber dem Universalgelenk einen Nachteil zu besitzen, der darin beruht, dass nicht nur durch Drehen, sondern auch durch Schwenken der Welle W die Trommel gedreht wird. Dieser Umstand ist jedoch nicht von grosser Bedeutung, wie aus der folgenden Erörterung hervorgeht.

4. Die Nebenbewegungen im Laufradmechanismus.

Das Laufrad soll, indem es am Boden abrollt, die Vorwärtsbewegung des Gerätes auf die Papiertrommel übertragen. Es kommen aber in dem ganzen Getriebe infolge der Unebenheiten des Bodens und infolge von Lageveränderungen des Kraftmessers Nebenbewegungen vor, die bei einer ganz einwandfreien Konstruktion keinen Einfluss auf die Papierbewegung haben dürften. In Abb. 7 sind die Nebenbewegungen kenntlich gemacht. Die Papiertrommel mit dem Kraftmesser möge zunächst die Lage T haben, die Achse des Laufrades L liege in M und der Berührungspunkt auf dem Boden sei in einem bestimmten Moment der Punkt P. Denkt man sich nun, dass infolge einer Erhöhung des Bodens M nach M_1 geboben wird, denkt man sich ferner dabei das Rad nicht drehend, so müsste der Punkt P auf einem Kreise um D nach P_1 gelangen. Dies entspricht einer Rückwärtsverschiebung des Rades um die Projektion von $P P_1$ auf die Horizontale gleich $P B$. Diese Rückwärtsverschiebung wirkt als Verzögerung, wenn sich das Rad dreht. Umgekehrt tritt infolge der Vorwärtsverschiebung des Rades eine Beschleunigung der Drehbewegung ein, wenn eine Senkung des Rades von M_1 nach M vor sich geht. Diese Schwankungen wirken nun, wenn sich in D ein Kreuzgelenk befindet, in ganzer Grösse auf die Trommel. Bei dem richtig konstruierten Kegelradgelenk hingegen ist dies nur zu einem Teil der Fall. Man bemerke nämlich, dass die Kegelradpaare in der Zeichnung (Abb. 6) eine Übersetzung 1 : 1 erhalten haben, dass sie auf verschiedenen Seiten der Welle W liegen und dass die Räder 2 und 3, beide von oben gesehen, zwischen der Schnecken- und der Laufradachse angeordnet sind. Wird nämlich hierbei die Schneckenachse, bzw. das Kegelrad 4, festgehalten, so führt das Kegelrad 1 und damit das Laufrad bei einer Schwenkung der Welle W nur eine Translationsbewegung auf einem Kreise aber keine Drehung aus. In Fig. 5 würde das bedeuten, dass der Punkt P, der auf einem vertikalen Radius liegend gedacht ist, bei der Schwenkung auch auf einem vertikalen Radius bleibt, also nicht nach P_1, sondern nach P_2 gelangt. Es ist also bei der Aufwärtsbewegung des Rades die Rückwärtsverschiebung nur gleich $P A$.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn der Kraftmesser mit der Papiertrommel sich schräg stellt, wie dies in Abb. 3 gezeichnet war und wie es auch in Abb. 7 angedeutet ist. Bei einem Kegelradgelenk tritt dann eine Beschleunigung bzw. Verzögerung des Papiervorschubs ein, und zwar so, als hätte sich das Laufrad um den Winkel gedreht, um den sich der Kraftmesser geneigt hat. Bei dem Universalgelenk ist ein

derartiges Sichneigen des Kraftmessers ohne direkten Einfluss auf die Papierbewegung.

Im ganzen kann man wohl behaupten, dass die geschilderten Nebenbewegungen von keinem sehr grossen Einfluss auf den Papiervorschub sein werden, da es sich, wenn die Unebenheiten des Bodens nicht zu bedeutend sind, bei den Unregelmässigkeiten doch nur um geringe

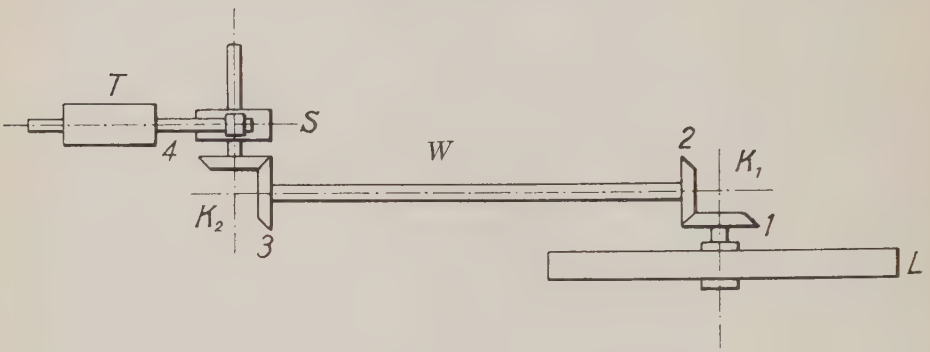


Abb. 6. Schema des Kegelradgelenkes.

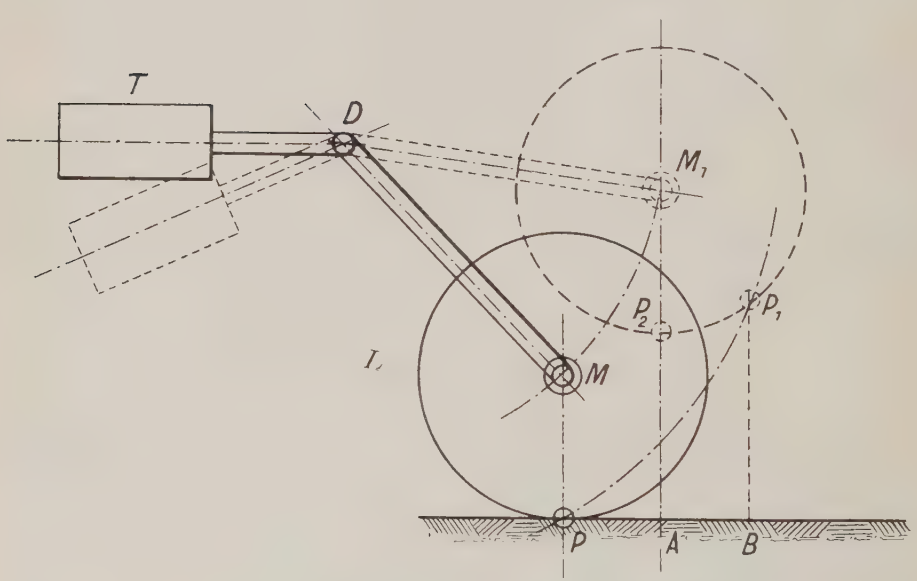


Abb. 7. Die Nebenbewegungen im Laufradmechanismus.

Bruchteile des Laufradumfanges handelt. Ausserdem ist die Trägheit und die Reibung in den ganzen Getrieben so gross, dass der Einfluss der kurz dauernden Nebenbewegungen wohl zum allergrössten Teil in einer veränderlichen Schlüpfung des Laufrades aufgehoben wird. Die Tatsache, dass das Laufrad schlüpft, schwächt auch die Bedeutung des Einwandes ganz erheblich ab, den man überhaupt gegen die Anwendung des Laufrades erheben kann, dass es nämlich nicht die horizontal zurückgelegte Strecke, sondern das gekrümmte Oberflächenprofil des Bodens ablaufe und registriere. Einmal kommt infolge der Schlüpfung die

grössere Länge des Profils nicht zur Geltung und zweitens, das ist das wesentliche, werden die an sich schon nicht erheblichen Geschwindigkeitsänderungen, die infolge der verschiedenen Höhe der Bodenwellen eintreten müssten, durch die Trägheit und Reibung des Getriebes abgeschwächt.

Bis zu einem gewissen Grade werden wohl auch die Fehler, die durch das Kreuzgelenk entstehen, durch die Schlüpfung ausgeglichen. Dass dies aber bei weitem nicht in ausreichendem Masse der Fall ist, zeigen die folgenden Versuche.

5. Vergleichsversuche mit Kreuz- und Kegelradgelenk.

Zwei Kraftmesser, von denen der eine in der üblichen Weise mit einem Kreuzgelenk, der andere mit einem Kegelradgelenk ausgerüstet war, wurden gemeinschaftlich auf einem Brett nebeneinander befestigt,

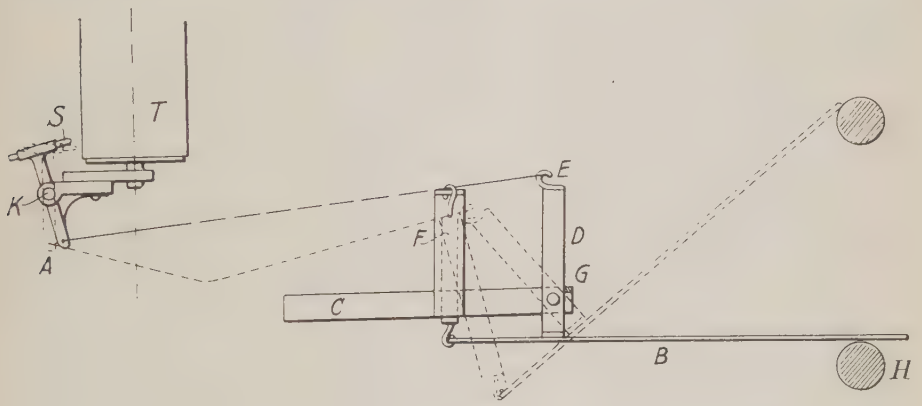


Abb. 8. Wegmarkenschreiber.

so dass ihre Trommelachsen parallel zueinander und zur Brettfläche und senkrecht zur Längsrichtung des Brettes verliefen. Das Brett wurde auf einer niedrigen Karre so angebracht, dass die Laufräder der Kraftmesser ganz in der Weise auf dem Boden anlagen, wie es bei Kraftmessungen der Fall ist. Die Räder wurden an den Haltearmen so eingestellt, dass die Gelenke möglichst die gleiche Knickung erhielten. Diese Knickung konnte durch Neigen des Brettes in der Querrichtung beliebig verändert werden. Beide Kraftmesser wurden ferner mit einem Wegmarkenschreiber ausgerüstet. Derselbe ermöglicht es, beliebige Stellen eines Weges in dem Diagramm des Kraftmessers zu markieren. (Abb. 8). Er besteht aus je einem Markenschreibstift für jeden Kraftmesser und aus einem gemeinschaftlichen Anschlaghebel. Der Markenstift S ist am Kraftmesser gegenüber der Papiertrommel befestigt. Er wird durch eine Feder angedrückt, und kann durch eine Schnur abgezogen werden. Der Anschlaghebel B ist mit dem Seitenarm D um einen vertikalen Zapfen drehbar an der Schiene C befestigt. An seiner Verlängerung greift das eine Ende der Zugfeder F an, deren anderes

Ende an einem Seitenarm der Schiene C hängt. Die Feder zieht den Arm D gegen den Anschlag G; D trägt am äusseren Ende den Haken E, an dem der vom Schreiber S herkommende Zugfaden so befestigt ist, dass der Schreiber vom Papier abgezogen wird. Der ganze Anschlagsmechanismus wurde derart an der Karre angebracht, dass der Hebel B seitlich herausragte und so, dass die Vorwärtsbewegung der Karre den Hebel gegen den hingehaltenen Stab H führte. Die Weiterbewegung bewirkt das Zurückklappen des Hebels, das Nachlassen des Zugfadens und damit das Niederdrücken des Schreibers. In der gestrichelt gezeichneten Lage gleitet der Hebel unter dem Zug der Feder F an dem Stab vorbei in seine alte Lage, indem er dabei den Schreiber wieder vom Papier ebzieht. Die Markierung erfolgt also, sobald der Schreiber beim Anschlagen des Hebels an einem hingehaltenen Stab durch Nachlassen des Fadens genügend Luft bekommen hat. In diesem Augenblick beginnt er auf dem durch das Laufrad transportierten Papierstreifen einen Strich zu ziehen, der wieder unterbrochen wird, sobald der Anschlaghebel an dem Stab vorbeigestreift ist.

Die beiden hier benutzten Kraftmesser erhielten jeder einen Markenschreiber. Die Fäden werden gemeinschaftlich an den Haken E geführt, so dass das Schreiben beim Anschlagen des Hebels hinreichend genau gleichzeitig erfolgte.

Es wurde nun mit der Karre eine Wegstrecke von 39 m (mit Kies beschütteter Gartenweg) wiederholt hin- und zurückbefahren und alle 3 m eine Stange so gehalten, dass der Markenschreibhebel anschlug. Die Dreimeterstrecken waren auf dem Boden vorgezeichnet. Das Hinhalten der Stange konnte, da eine sehr grosse Genauigkeit nicht erforderlich war, ganz gut durch eine nebenhergehende Person ausgeführt werden. Der Weg wurde im ganzen siebenmal zurückgelegt. Bei den ersten fünf Versuchen betrug die Neigung im Kreuzgelenk 45°, im Kegelradgelenk 55°, bei den letzten beiden Versuchen waren beide Gelenke nahezu gestreckt. Es würde zuweit führen, die Länge aller Einzelstrecken hier anzugeben. In den Tabellen II und III ist daher nur das Wesentliche zusammengestellt, nämlich der innerhalb eines Versuches grösste, einem Wege von 3 m entsprechende Papiervorschub, der kleinste Vorschub, das Mittel aus den 13 Einzelwerten und die durchschnittliche Abweichung des Mittels von den Einzelwerten. Der letztere Wert ist auch in Prozenten des Mittels angegeben. In einer weiteren Spalte ist noch die gesamte, einer Wegstrecke von 39 m entsprechende Papierbewegung eingetragen. In Tabelle IV ist es unterlassen worden, für die Versuche 1—5 die Mittel auszurechnen. Man erkennt schon aus den Werten für das Maximum und Minimum die ganz unzulässige Ungleichmässigkeit der Übertragung, die nicht einmal in ganzer Grösse auftritt, weil 3 m bereits einer Viertelumdrehung des Gelenkes entsprechen. Demgegenüber gibt, wie zu erwarten war, das Kegelradgelenk keine Differenzen, die praktisch ins Gewicht fielen. Andererseits zeigt sich bei beiden Einrichtungen für den der Gesamt-

Tabelle II.

Kegelradgelenk.

Nr. des Versuchs	Einer Strecke von 3 *m* entsprechender Papiervorschub: Maximum *mm*	Minimum *mm*	Mittel *mm*	Durchschnittliche Fehler in: *mm*	%	Der Strecke von 39 *m* entsprechender Papiervorschub in *mm*	Knickungswinkel
1	24	20	21,3	±0,8	4	284	
2	23	21	21,5	±0,5	2,5	283	
3	23,5	20	21,1	±0,7	3,5	280	55°
4	23	21	21,9	±0,6	3	284	
5	24	20	21,4	±0,8	4	281	
					Mittel . . .	282,4	
6	24	21	22,4	±0,6	3	293	gestreckt
7	24	21	22,0	±0,5	2,5	289	
					Mittel . . .	291	
			Mittel von 1—7 . . .		3,2		

Tabelle III.

Kreuzgelenk.

Nr. des Versuchs	Einer Strecke von 3 m entsprechender Papiervorschub: Maximum *mm*	Minimum *mm*	Mittel *mm*	Durchschnittliche Fehler in: *mm*	%	Der Strecke von 39 *m* entsprechender Papiervorschub in *mm*	Knickungswinkel
1	37	21	—	—	—	349	
2	31	21	—	—	—	356	
3	37,5	19	—	—	—	354	45°
4	33	20	—	—	—	343	
5	36	19	—	—	—	348	
					Mittel . . .	350	
6	31	26,5	27,9	±0,8	3	363	gestreckt
7	30,5	27,5	29,0	±1,0	3,5	376	
					Mitel . . .	369,5	

strecke entsprechenden Ablauf eine gute Übereinstimmung der Werte untereinander.

Auffallend ist hier, dass nicht nur das Kreuzgelenk, wie schon früher bemerkt, sondern auch das Kegelradgelenk jenen Unterschied des Ablaufes bei gestreckter und geknickter Lage erkennen lässt, den wir der Hauptsache nach auf den verschiedenen Widerstand im Kreuzgelenk zurückführten. Der Unterschied ist beim Kreuzgelenk beinahe doppelt so gross, wie bei den Kegelrädern, was die frühere Annahme stützt. Indessen ist wohl noch Folgendes von Einfluss. Bei sehr schräg nach oben gehender Welle und Haltestange ist das Laufrad nicht durch das volle Gewicht aller Teile belastet, weil ja in der schrägen Haltestange eine dem Gewicht entgegengesetzte Zugkomponente mitwirkt, was bei einer mehr horizontalen Lage derselben weniger der Fall ist. Die Belastung des Laufrades dürfte aber auf die Schlüpfung einen gewissen Einfluss haben. Dazu kommt noch ein Umstand, den man auf sehr höckerigem Terrain beachten muss. Liegt nämlich der Gelenkpunkt so, dass die Haltestange sehr steil nach oben geht, so dreht sich in der Nähe dieser Stellung der Mittelpunkt des Laufrades um den Gelenkpunkt auf einem Kreisbogen, dessen Tangenten gegen die Horizontale nur eine geringe Neigung haben. Fällt nun etwa eine Bodenwelle in der Richtung der Vorwärtsbewegung steiler ab als jene Tangente, dann muss das Laufrad abrutschen, ohne an dieser Stelle den Boden überhaupt zu berühren. Man wird also im allgemeinen gut tun, eine zu grosse Steilheit der Haltestange zu vermeiden.

Zusammenfassung.

1. Das Laufrad an registrierenden Zugkraftmessern hat beim Ablauf gegen den Boden eine beträchtliche Schlüpfung. Bei ungefähr gleichgeartetem Boden und ungefähr gleicher Lage des Kraftmessers ist diese Schlüpfung soweit unveränderlich, dass man das Laufrad zur Registrierung des zurückgelegten Weges im Arbeitsdiagramm benutzen kann.

2. Das Kreuzgelenk darf in der bisher üblichen Weise an Zugkraftmessern zur Übertragung der Laufradbewegung auf die Papiertrommel wegen der bei grösseren Knickungswinkeln auftretenden periodischen Ungleichmässigkeiten der Drehungsgeschwindigkeit nicht verwendet werden.

3. Das vom Verfasser angegebene Kegelradgelenk[1]) besitzt den gerügten Nachteil des Kreuzgelenkes nicht und gestattet eine getreue Übermittlung der Laufraddrehung auf die Papiertrommel.

1) Es wird von P. Polikeit-Halle a. S. hergestellt.

Druck von Gebr. Unger in Berlin, Bernburger Str. 30.

Ein Integrator für den Kraftmesser von Burg und ein neuer integrierender Kraftmesser mit Laufrad- oder Uhrwerksantrieb.

Von Dipl.-Ing. Dr. phil. Rudolf Bernstein.

A. Der Integrator für den Kraftmesser von Burg.

Bei dem Burgschen Dynamometer erfolgt die Schreibung des Diagramms in Polar-Koordinaten derart, dass der Winkelausschlag die Kraft und der Radius die Zeit bedeutet. Deshalb ist es nicht möglich, zur Berechnung einer mittleren Kraft das gewöhnliche Planimeter anzuwenden. Es bleibt zu der Beurteilung des Diagramms nur die Möglichkeit einer annähernden Auswertung, die meistens unsicher und umständlich ist, besonders deshalb, weil das Diagramm infolge der ständigen Kraftschwankungen und des langsamen Schreibervorschubs sehr eng geschrieben ist, und mehr eine geschwärzte Fläche als eine Kurve darstellt, und dann auch, weil der Bogenmassstab für die Kraft sich mit der Radialbewegung ändert. Der Dynamograph eignet sich jedoch seiner Handlichkeit wegen, die eben durch das Prinzip bedingt ist, besonders für landwirtschaftliche Zugkraftmessungen.[1]) Er wird für solche Zwecke neuerdings durch P. Polikeit in wesentlich verbesserter Form hergestellt; der primitive Seidenfaden wurde durch eine Zahnstange ersetzt, der Schreiberweg verdoppelt und durch reichliche Anwendung von Aluminiumguss das Gewicht des Instrumentes auf nahezu die Hälfte reduziert. Der Wert des Kraftmessers als Registrierinstrument aber ist vor allem des schlecht auswertbaren Diagramms wegen ein beschränkter geblieben[2]).

Es ist nun aber ohne Schwierigkeit möglich, diesen Hauptnachteil zu beseitigen. Man kann an dem Kraftmesser ein Instrument anbringen, das die zur Berechnung eines korrekten Mittelwertes erforderliche Auswertung genau und selbsttätig während der Messung ausführt, das also den Kraftmesser zu einem, wie man seit Morin sagt, „totalisierenden" macht.

Morin war der erste, der versucht hat, ein totalisierendes Dynamometer zu bauen. Das Prinzip, das er verwendete, ist das

1) Eine Beschreibung des Originalinstrumentes gibt u. a. Nachtweh in Fühlings landw. Ztg. 1904, S. 100.

2) Über die Theorie der Registrierung s. auch B. Martiny: „Kraftmessungen an Bodenbearbeitungsgeräten" ds. Zeitschrift, Jahrg. 1911, S. 64 f.

folgende[1]): Eine kleine leichte Rolle wird auf einer als Unterlage dienenden Kreisscheibe hin- und hergeschoben, und zwar so, daß die Achse der Rolle stets nach dem Mittelpunkt der Kreisscheibe gerichtet ist. Die letztere erhält ihrerseits unter dem Einfluß der Vorwärtsbewegung des Gerätes eine dem Wege proportionale Winkeldrehung. Infolgedessen wird die Rolle, je nachdem, ob sie bei größerer oder kleinerer Kraft mehr oder weniger weit vom Mittelpunkt der Scheibe entfernt steht, in mehr oder weniger schnelle Umdrehung versetzt. Eine einfache Rechnung zeigt, daß die Zahl der Umdrehungen, welche die Rolle in einer bestimmten Zeit ausführt, der Arbeit, die in dieser Zeit geleistet wurde, proportional ist. Dieses Prinzip ist später wiederholt zur Anwendung gelangt, u. a. bei den Zugdynamometern von Bentall[2]), von Rich, Eastons und Anderson[3]) und in allerdings stark veränderter Gestalt, dem von Baldwin[3]). Auch für Indikatoren ist das Prinzip verwendet worden, neuerdings durch A. Böttcher[4]). Bei allen diesen Instrumenten ist es schwierig, ein sicheres Abrollen der Messrolle zu bewirken. Das Ganze stellt ja eine Reibungskupplung für eine kontinuierliche Geschwindigkeitsabstufung dar. Sicheres Funktionieren verlangt eine beträchtliche Reibung, die um so grösser sein muss, je plötzlicher die Änderungen der Kraft vor sich gehen, weil dabei die Rolle plötzlich eine andere Geschwindigkeit annehmen muss. Das kommt nun aber gerade bei landwirtschaftlichen Kraftmessungen in ganz besonderem Masse in Frage. Hier ist auch von vornherein infolge der äusseren Erschütterungen des ganzen Apparates das sichere Arbeiten einer solchen Rolle nur dann möglich, wenn sie gegen ihre Unterlage sehr fest anliegt. Das letztere aber ist deshalb nur in beschränktem Masse möglich, weil durch den zu starken Flächendruck, in Verbindung mit dem infolge der Kraftschwankungen heftigen Hin- und Herfahren der Rolle, eine ganz beträchtliche Abnutzung der sich reibenden Teile bewirkt wird, und weil ausserdem die Empfindlichkeit des Messinstrumentes darunter leidet. Um wenigstens die schroffen Änderungen der Kraft zu mildern, hat W. E. Rich sein Dynamometer mit einem kräftigen Flüssigkeitspuffer versehen. Indessen bleiben die äusseren Erschütterungen und damit wohl auch bei diesem Instrument die Unsicherheit des Abrollens.

Das Burg sche Dynamometer zu einem totalisierenden zu machen ist bisher noch nicht versucht worden[5]). Streng genommen ist es ja auch infolge des Uhrwerksantriebes nicht möglich. Wenn man aber

1) Rühlmann allgem. Maschinenlehre, S. 172—175.

2) Perels, Handb. d. landw. Maschinenwesens, 2 A. Bd. 1 S. 11.

3) Thallmayer: „Einiges über Sämaschinen", Dinglers polyt. Journ. 1898, Bl. 307 S. 276 und Nachtweh, „Hilfsmittel und Methoden bei der Prüfung landw. Maschinen" Fühlings landw. Ztg. 1904, S. 309 und 310.

4) A. Böttcher „Leistungszähler für Kolbenmaschinen mit beliebig veränderlicher Belastung", Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1910, S. 1233.

5) Siehe Note am Schluss der Arbeit.

eine einigermassen gleichmässige Vorwärtsbewegung der Geräte, an denen Kraftmessungen vorgenommen werden sollen, voraussetzen kann, so zeigt sich das Instrument zur Anbringung eines Arbeitszählers, oder allgemeiner ausgedrückt, „Integrators“[1]) ganz besonders befähigt. Das Prinzip dieses Integrators ist im Grunde genommen dasselbe, wie das oben gekennzeichnete und lässt sich aus jenem, mathematisch ausgedrückt, durch eine Vertauschung der Koordinaten herleiten. In technischer Beziehung aber zeichnet es sich dadurch aus, dass eben infolge jener Koordinatenvertauschung der Einfluss der erwähnten Störungen in praktisch hinreichender Weise aufgehoben werden kann.

Die Theorie des Integrators.

Voraussetzung für die Anwendbarkeit des Instrumentes ist ebenso, wie für die Anwendbarkeit des Planimeters bei rechtwinkligen Koordinaten, dass in den Grenzen, in denen bei der Messung die Kraft schwankt, diese dem Ausschlag des Kraftmessers proportional ist.[2]) Ferner ist, wie erwähnt, im vorliegenden Falle erforderlich, dass die Geschwindigkeit des Gerätes während der Messung eine möglichst gleichförmige ist. Da die radiale Verschiebung des Schreibers durch ein Uhrwerk gleichförmig erfolgt, so würde damit der Weg des Schreibers dem Wege des Gerätes proportional sein. Allerdings kann dies immer nur ungefähr der Fall sein. Durch eine später (Seite 32) beschriebene Konstruktion des Kraftmessers wird diese Bedingung ohne Einschränkung erfüllt.

Unter den genannten Voraussetzungen ergibt sich folgender Zusammenhang: Es möge mit P die Zugkraft, mit φ der jeder Kraft entsprechende Winkelausschlag des Zeigers, mit $-dr$ der radiale Weg des Schreibers, der nach dem Drehpunkt zu gerichtet ist, mit w der Weg des Gerätes bezeichnet werden; a und b seien konstante Faktoren. Es ist nach Voraussetzung

$$1.\quad P = a \cdot \varphi$$
$$2.\quad w = -b \cdot dr.$$

Bedeutet ferner L die während der Messung geleistete Arbeit, und sind r_1 und r_2 die Radien, auf denen im Anfang bzw. am Ende der Messung der Schreiber steht, so ist die während der Messung geleistete Arbeit

$$3.\quad L = \int_0^w P \cdot dw = -a \cdot b \cdot \int_{r_1}^{r_2} \varphi \cdot dr.$$

1) Da das Substantivum von „totalisierend“ hier nicht gut verwendbar ist, so wurde für das Instrument die Bezeichnung „Integrator“ gewählt. In Konsequenz hiervon werden weiterhin die mit Integrator ausgerüsteten Dynamometer als „integrierend“ bezeichnet, ein Ausdruck, der dasselbe bedeutet wie „totalisierend“, dem fachlichen Sprachgebrauch aber mehr entspricht.

2) Diese Bedingung traf bisher bei dem Burg-Dynamometer nicht zu. Durch eine einfache Abänderung (s. S. 24) wurde sie hergestellt.

Die mittlere Kraft, deren Grösse wir durch die Kraftmessung bestimmen wollen, ist daher

$$4.\quad P_m = \frac{L}{w} = -\frac{a}{r_1 - r_2} \int_{r_1}^{r_2} \varphi \cdot dr.$$

Das Integral in dieser Gleichung lässt sich nun, wie oben bereits erwähnt, offenbar mit dem Planimeter nicht gewinnen, da es nicht durch einen Flächeninhalt dargestellt wird. Die Integration kommt indessen mit Hilfe des im folgenden beschriebenen einfachen Instrumentes zustande.

In Figur 32 sei $A\,B\,C\,D$ die vom Schreibstift gezeichnete Kurve, und zwar möge in A auf der Nullinie die Schreibung begonnen und in D wieder auf der Nullinie, d. h. nach Aufhören der Kraftwirkung, beendet sein. Setzt man nun an die Stelle des Schreibers eine leichte

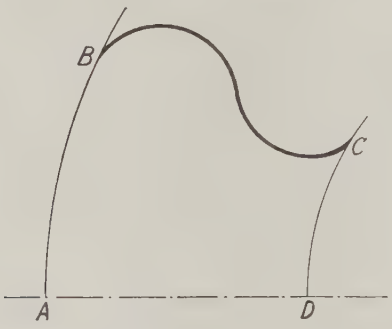


Abb. 32. Kurvenbild der Burgschen Registrierweise.

Rolle von bestimmtem Durchmesser, deren Ebene zur Schreibfläche senkrecht steht, die die Schreibfläche nur in einem Punkte berührt, und deren Achse stets nach dem Drehpunkt des Zeigers hin gerichtet ist, so wird diese Rolle, die also am Zeigerarm gelagert und wie der Schreiber radial verschieblich ist, bei jedem Winkelausschlag des Zeigers rollen; gegen eine radiale Verschiebung hingegen wird sie unempfindlich sein, d. h. sich dabei nicht drehen. Heisst der Radius der Rolle ϱ, die Entfernung des Berührungspunktes auf der Unterlage vom Drehpunkt des Armes in einem gewissen Moment r und wird die Drehung der Rolle mit u bezeichnet, so ist

$$d\,u = \frac{r \cdot d\,\varphi}{\varrho}$$

Die gesamte Drehung, die mithin die Rolle durch ihre Wanderung auf der Kurve $A\,B\,C\,D$ erfährt, ist

$$U = \int_A^D \frac{r \cdot d\varphi}{\varrho}$$

Die partielle Integration ergibt:

$$\int r \cdot d\varphi = r \int_D d\varphi - \int \varphi \cdot dr.$$

Durch Einsetzen der Grenzen wird $\int_A d\varphi$ zu Null, da ja A und D beide auf der Nullinie des Instrumentes liegen, so dass man, wenn A um r_1 und D um r_2 vom Drehpunkt des Schreibarmes entfernt liegt, erhält:

$$U = -\frac{1}{\varrho} \int_{r_1}^{r_2} \varphi \cdot dr.$$

Dies ist das Integral der Gleichung 3, so dass die mittere Kraft

$$5. \quad P_m = \frac{a \cdot \varrho \cdot U}{r_1 - r_2}$$

oder der mittlere Winkelausschlag

$$6. \quad \varphi_m = \frac{\varrho \cdot U}{r_1 - r_2}$$

ist.

Es war bisher vorausgesetzt, dass die Rolle an die Stelle des Schreibstiftes gesetzt sei. Wie man leicht einsehen kann, ist dies nicht erforderlich. Die Rolle kann auch vor oder hinter den Schreibstift gesetzt werden. Es ist gleichgültig, wo sie ihre Bewegung beginnt, vorausgesetzt nur, dass für sie, wie für den Schreibstift die Gleichungen

$$P = a \cdot \varphi \quad \text{und} \quad r_1 - r_2 = -\Delta r = \frac{w}{b}$$

bestehen bleiben. Setzt man nämlich statt r_1, $(r_1 + c)$ und statt r_2, $(r_2 + c)$ ein, so bleiben φ, Δr und dr unverändert. Da selbstverständlich die geleistete Arbeit unabhängig von der Beschaffenheit des Zeigerwerkes ist, so ist nach Gleichung 3

$$L = -a \cdot b \int_{r_1}^{r_2} \varphi \cdot dr = -ab \int_{r_1 + c}^{r_2 + c} \varphi \cdot dr.$$

Eine einfache, rein mathematische Erörterung führt zu demselben Ergebnis.

Hiernach besteht der Integrator im wesentlichen nur aus einem auf dem Schreibstiftschlitten gelagerten Rädchen, das auf der Schreibfläche rollt und dessen Achse nach dem Drehpunkt des Schreibarmes hin gerichtet ist. Das Rädchen muss auf seinem Umfang mit einer Gradskala versehen sein, die gegen eine daneben befestigte Ablesekante abzulesen ist. Ebenso wird man die Schlittenführung mit einer Millimeterskala und den Schlitten mit einer Ablesekante versehen. Dann vollzieht sich die Feststellung des Kraftmittels bei einer Messung fol-

gendermassen. Man liest zunächst vor Beginn der Kraftmessung die Stellung des Rädchens und die des Schlittens ab. Um ein konkretes Beispiel zu wählen, sei bei einer Teilung des Rädchenumfanges in 60 Teile die Stellung derselben 21,5, die des Schlittens 0,6 *cm*. Nun mag die Kraftmessung vor sich gehen, das Uhrwerk ist eingeschaltet, die Kurve wird geschrieben und von dem Rädchen durchlaufen. Nach Beendigung der Messung wird wiederum die Stellung des Rädchens und die des Schlittens abgelesen; sie seien 32,9 bzw. 3,8 *cm*. Offenbar beträgt nun die Umdrehung (U) des Rädchens (32,9 — 21,5): 60 oder in Grad $11{,}4 \cdot 6 = 68{,}4°$. Der Weg des Schlittens ($\Delta r = r_1 - r_2$) ist 3,2 *cm*.

Nach Gleichung 6 ist also

$$\varphi m = \frac{\varrho \cdot 68{,}4}{3{,}2}$$

Bei dem vorliegenden Instrument ist der bequemen Rechnung halber und im übrigen aus konstruktiven Rücksichten $\varrho = 1\ cm$ gemacht, so dass

$$\varphi m = \frac{(32{,}9 - 21{,}5) \cdot 6}{3{,}8 - 0{,}6} = 21{,}4°$$

ist. Nach der Eichungsskala des Instrumentes, das zu den im Folgenden beschriebenen Versuchen benutzt wurde, entsprach einem Winkel von 21,4 ° eine mittlere Kraft von 210 *kg*. Man erhält sonach durch zweimal zwei Ablesungen, eine einfache Rechnung und eine Ablesung der Eichskala die mittlere Kraft, die bei der Kraftmessung zu überwinden war.

Allerdings ist noch bei Anwendung des Uhrwerksantriebes ein wesentlicher Punkt zu beachten. Wenn, wie das bei Benutzung des Burgschen Kraftmessers zu geschehen pflegt, zunächst das Uhrwerk eingeschaltet wird, und dann erst die Zugtiere antreten, und das Gerät in Gang setzen, und wenn vielleicht auch umgekehrt am Ende das Gerät hält und danach erst das Uhrwerk arretiert wird, so kommen am Anfang und am Ende zu dem Diagramm Stücke hinzu, die durchaus von dem Diagrammstück abweichen, das bei regelrechtem Gang des Gerätes gewonnen wurde. Der Integrator tritt in Tätigkeit, sobald das Ukrwerk geht, er würde also die unzutreffenden Diagrammstücke, die man bei einer schätzungsweisen Beurteilung nachträglich weglässt, mit einbeziehen und so einen falschen Mittelwert angeben. Aus diesem Grunde ist zur Vervollständigung des Integrators eine Einrichtung erforderlich, die es gestattet, das Uhrwerk erst dann einzuschalten, wenn das Gerät regelrecht in Gang ist und es auszuschalten, bevor das Gerät anhält.

Wie schon oben hervorgehoben, muss ausserdem auf eine möglichst gleichförmige Geschwindigkeit des Gerätes geachtet werden. Dies gilt naturgemäss nur für ein Dynamometer mit Uhrwerksantrieb, nicht aber für das S. 32 beschriebene Instrument mit Laufrad.

Konstruktion.

Abb. 33 zeigt den Integrator in Verbindung mit dem Burgschen, durch Paul Polikeit verbesserten Kraftmesser. Abb. 34 gibt ihn für sich in grösserem Massstabe wieder. Details der Konstruktion sind aus den Zeichnungen Abb. 35 zu ersehen[1]).

Man erkennt die Fischbauchfeder (15) und die an der einen Seite derselben befestigte Schreibfläche des Burgschen Instrumentes. Von der anderen Federseite her wird durch die Stange 1 der Hebel 3 betätigt, der seinerseits in einem durch den Schieber (11) verschlossenen

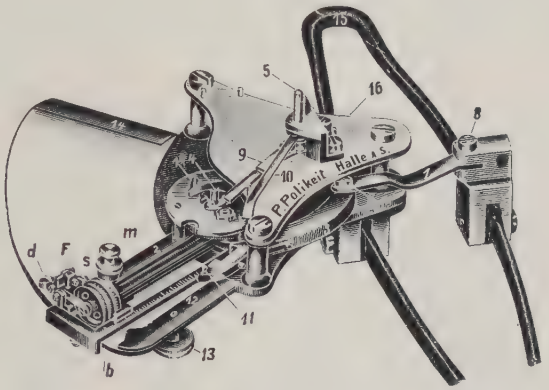


Abb. 33. Kraftmesser von Burg mit Integrator.

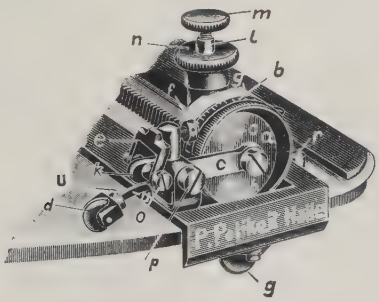


Abb. 34. Integrator.

Schlitz den Schreibarm (2) mitnimmt. Der Schreibarm trägt nahe an seinem Drehpunkt das Uhrwerk, das zur Fortbewegung des in einer radial gerichteten Führung des Armes verschieblichen Bleistiftschlittens dient. Die Bewegung erfolgt durch eine Zahnstange, deren schräg geschnittene Zähne in Abb. 34 deutlich sichtbar sind. Vor der Bleistifthülse *l* sitzt am Schlitten gelagert die Integratorrolle *a* (Abb. 34). Mit ihrem balligen und in achsialer Richtung fein geriffelten Umfange berührt sie die Schreibfläche genau in der radial gerichteten Mittellinie des Schreibarmes. Sie ist aus naturhartem Stahl gefertigt und hat

1) Der Integrator wird von P. Polikeit, Halle a. S., Alte Promenade 8 D, hergestellt.

einen riemenscheibenartigen Querschnitt mit einem seitlich ansitzenden zylindrischen Teil (b) von kleinerem Durchmesser, auf dem die Skala eingeritzt ist. Die Lagerung wird durch Spitzenschrauben gebildet, die an einem gegabelten Ende eines doppelarmigen Hebels sitzen. Der Hebel seinerseits ist direkt am Schlitten gelagert. An seinem anderen Arm sitzt drehbar der Bügel e, an dem unten die Blattfeder u verschraubt ist. Diese trägt am Ende eine Rolle d, die gleich der Integratorrolle auf dem Papier der Schreibfläche läuft. Durch Anziehen der in einem Seitenarm des Doppelhebels sitzenden Schraube f werden unter Anspannung der Feder u die Rollen a und d gemeinschaftlich gegen die Schreibfläche gedrückt, während der Schreibarm von der Platte abgezogen wird. Um diese Kraft aufzunehmen, ist in dem um

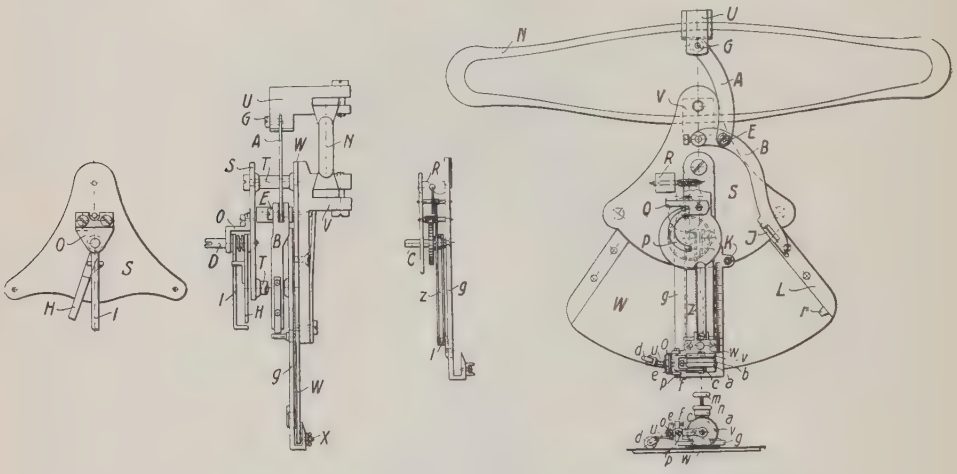


Abb. 35. Kraftmesser von Burg mit Integrator. Detailzeichnung[1]).

den Plattenrand umgebogenen Ende des Armes eine Rolle g gelagert, die sich gegen die Unterseite der Platte gegenlegt. Das Papier wird in der üblichen Weise durch Klemmbacken befestigt. Die eine Klemmbacke hat einen in Abb. 2 erkennbaren Vorsprung (der an Stelle des in Abb. 3 mit r bezeichneten Stiftes getreten ist) gegen den der Schreibarm bei ungespannter Feder ein wenig Luft hat, gegen den er aber bei jeder Ablesung der Rolle angedrückt werden muss. Das umgebogene Ende des Schreibarmes hat eine Zeigerspitze, die auf eine Gradeinteilung hinweist, und zwar auf den Nullpunkt derselben dann, wenn man den Arm gegen den Vorsprung r andrückt. Neben der Gradeinteilung ist auf einem auswechselbaren Messingstreifen die Eichskala so befestigt, dass aus dem errechneten mittleren Winkel sofort die mittlere Kraft abgelesen werden kann.

Die Hebel 9 und 10 in Abb. 33 gehören zu dem Ein- und Ausschaltemechanismus, der weiter unten erläutert wird (S. 25).

1) Die Zeichen stimmen nicht mit denen der Abb. 33 u. 34 und des Textes überein.

Besonderheiten der Konstruktion.

1. Wie bereits im Anfang hervorgehoben wurde, sind es im wesentlichen zwei Bedenken, die ebenso wie den früheren auch jedem totalisierenden Kraftmesser der hier geschilderten Art entgegengehalten werden müssen.

Erstens bietet die Rolle mit dem Zählwerk einen gewissen Widerstand gegen eine Veränderung ihrer Winkelgeschwindigkeit. Infolgedessen kann bei sehr ruckweisen Änderungen des Ausschlages ein Rutschen der Rolle auf ihrer Unterlage stattfinden. Zweitens können die Stösse, die von aussen her auf das Instrument wirken, ein Abheben der Rolle von der Unterlage hervorrufen und auch dadurch ein genaues Arbeiten verhindern.

Naturgemäss kann diesen störenden Einflüssen dadurch begegnet werden, dass man die Rolle sehr kräftig gegen ihre Unterlage andrückt. Der Vorteil des hier beschriebenen Integrators vor den älteren Instrumenten ist nun gerade, dass man den Andruck, ohne eine übermässige Abnutzung der Teile oder eine verminderte Empfindlichkeit des Dynamometers gewärtigen zu müssen, sehr gross machen kann. Man kann dies deshalb tun, weil diejenige Bewegung, der die gleitende Reibung entgegenwirkt, nämlich die Verschiebung der Rolle in ihrer Achsrichtung, auf dem Bleistiftschlitten sehr langsam und gleichmässig vom Uhrwerk aus vor sich geht, während die Formveränderung der Kraftmesserfeder und der Ausschlag des Schreibarmes das Rollen des Integrators bewirkt. Bei den früheren Instrumenten ist die Anordnung gerade die umgekehrte. Das Gleiten erfolgt ruckweise und schnell unter dem Einfluss des Dynamometerausschlages, während das Rollen von der Vorwärtsbewegung des Gerätes abgeleitet wird. Welche Nachteile diese Anordnung mit sich bringt, haben wir früher erörtert (S. 16). Man ist nicht in der Lage, den Andruck der Messrolle so gross zu machen, dass er den ruckweisen Kraftschwankungen und den Erschütterungen des ganzen Instrumentes standhält. Hier kann das allmähliche Weiterrücken des Schlittens mit dem Integrator auch unter ganz beträchtlicher Reibung vor sich gehen, wenn nur das Uhrwerk kräftig genug ist, um den Widerstand zu überwinden[1]). Der kräftige Auflagerdruck allein genügt allerdings, wie sich herausgestellt hat, noch nicht, um ein richtiges Abrollen des Rädchens zu bewirken. Es ist unbedingt erforderlich, dasselbe am Umfang mit einer feinen, der Achse parallel gerichteten Rändelung zu versehen. Diese Rändelung vermehrt in erster Linie das Haften des Rädchens in der Laufrichtung. Die Wirkung der Rändelung wird unterstützt durch das sehr geringe Trägheitsmoment des möglichst leicht ausgebildeten Rädchens. Es kommt hinzu, dass ein besonderes Zählwerk nicht erforderlich ist, wie aus folgender Betrachtung hervorgeht. Der grösstmögliche Winkelausschlag ist etwa 60 °, das grösst-

1) Versuche hierzu s. S. 29.

mögliche $(r_1 - r_2)$ ist gleich etwa $5\,cm$; folglich ist nach Gleichung 6 der grösste mittlere Winkel

$$\varphi_m = \frac{U}{5{,}0} < 60^0$$

oder

$$U < 300^0,$$

so dass die Rolle sich bei keiner Messung um eine ganze Umdrehung verstellen wird.

Die Langsamkeit der Schlittenbewegung gestattet es auch, die Schreibfläche ganz wie gewöhnlich mit einem Papierblatt zu beziehen und die Rolle auf diesem laufen zu lassen, so dass die Platte selbst, die aus dem nicht sehr harten Aluminiumguss besteht, geschont wird, und man auch stets in der Lage ist, ein Diagramm aufzunehmen.

Mit Rücksicht auf die eigenartige Konstruktion des Burgschen Kraftmessers, an dem der Integrator ohne wesentliche Änderungen angebracht werden sollte, und um die Unempfindlichkeit gegen Erschütterungen zu steigern, wurde die Rolle auf die oben geschilderte besondere Weise gelagert. Die Kombination der Integratorrolle (a Abb. 34) mit der Federrolle d und der Gegenrolle g hat folgenden Zweck: Bei Stössen, die gegen die Oberseite der Schreibplatte gerichtet sind, würde der Schreibarm, der nur eine geringe Höhe hat, und daher in dieser Richtung etwas federn kann, bestrebt sein, nach oben abzuschwingen. Er würde dabei den Schlitten mit der Messrolle mitnehmen und den Auflagerdruck der letzteren vermindern. Dies wird durch die Rolle g verhindert, die so leicht geht, dass die Empfindlichkeit des Instrumentes nicht beeinträchtigt wird. Zugleich wird dadurch, wie schon erwähnt, der durch Anspannung der Feder erzeugte Anpressungsdruck der Rollen a und d aufgenommen. Gegen die Unterseite der Platte gerichtete Stösse bewirken einerseits ein nach unten Schwingen des Schreibarmes und damit ein schärferes Andrücken der beiden Rollen a und d, andererseits sind sie aber geeignet, ein Abschwingen der beiden Rollen von der Unterlage hervorzurufen. Da die Rollen nun an den beiden Seiten eines und desselben doppelarmigen Hebels gelagert sind, so wird sich diese Wirkung der Stösse wenigstens teilweise in sich aufheben.

2. Als eine Grundbedingung für das richtige Arbeiten des Integrators war zu Anfang angeführt worden, dass der Ausschlag des Schreibarmes der Kraft proportional sein müsse. Diese Forderung war bei den Burgschen Dynamometern bisher nicht erfüllt; sie lässt sich aber durch eine sehr einfache Abänderung in fast vollkommener Weise herstellen. Bei den bisherigen Instrumenten bildete nämlich der Arm, der von der einen Federseite nach dem an der anderen Seite gelagerten Zeigerhebel 3 (s. Abb. 33) herübergeht, mit dem Radius vom Drehpunkt des Hebels 3 nach dem Angriffszapfen 6 einen sehr stumpfen

Winkel [1]). Wenn man annimmt, dass die Annäherung der Federschenkel der Kraft proportional vor sich geht, so muss bei der gewählten Anordnung mit zunehmendem Ausschlag der der gleichen Kraft entsprechende Ausschlag immer kleiner werden. Dieser ist nämlich unter der gemachten Voraussetzung umgekehrt proportional dem Sinus des oben bezeichneten Winkels. Dieser Sinus aber erfährt infolge der geschilderten Anordnung mit wachsendem Ausschlag des Zeigers eine ganz beträchtliche Zunahme, indem der stumpfe Winkel sich mehr und mehr einem rechten nähert. Eine solche Zunahme findet fast nicht statt, wenn die Winkeländerung um einen rechten herum vor sich geht. Im vorliegenden Falle ist es ganz im Gegensatz zu der bisherigen Anordnung zweckmässig, von vornherein den Winkel etwas kleiner als einen rechten zu machen, weil die Annäherung der Federschenkel tatsächlich nicht ganz der Kraft proportional stattfindet, sondern, wie das auch die Theorie erfordert, mit wachsender Kraft etwas abnimmt. Durch richtige Wahl des Winkels erhält man eine praktisch vollkommen hinreichende Proportionalität des Zeigerausschlages mit der Kraft (s. Versuche S. 27).

3. Oben wurde auf S. 20 darauf hingewiesen, dass als Ergänzung für den Integrator ein Mechanismus erforderlich ist, der es gestattet, das Uhrwerk während der Bewegung des Gerätes ein- und auszuschalten. Die hier benutzte Vorrichtung, die in Abb. 2 und 4 wiedergegeben ist, wurde von Herrn Paul Polikeit erdacht und hat sich als sehr zuverlässig erwiesen. Es kam darauf an, unter Benutzung des Vorhandenen die Einrichtung so zu treffen, dass das Spiel des Schreibarmes in keiner Weise behindert ist. Bei dem Burgschen Instrument wird bekanntlich das Aus- bzw. Einschalten des Uhrwerks durch Hin- oder Herschieben eines kreisbogenförmigen Hebels bewirkt, der seinen Drehpunkt auf der Uhrwerksdecke hat und dessen vertikal aufgebogenes Ende bei 17 in Abb. 33 sichtbar ist. Zur Betätigung dieses Arretierhebels wurden nun zwei Schalthebel 9 und 10 vorgesehen, deren gemeinschaftlicher Drehpunkt über dem Drehpunkt des Schreibarmes 2 auf der Gehäusedecke liegt. Die Enden der miteinander im spitzen Winkel fest verbundenen Hebel sind hakenförmig nach unten gebogen. Wenn nun die Hebel aus der Stellung in Abb. 33 nach rückwärts herumgeschlagen werden, so trifft der Haken des Hebels 10 den Vorsprung 17, schiebt ihn beiseite und arretiert dadurch das Uhrwerk. Der voreilende Haken 9 ist schon vorher an dem Vorsprung vorbei gegangen, ohne ihn zu berühren. Der Haken 10 ist nun so dimensioniert, dass er an dem Vorsprung, wenn er zurückgeschoben ist, gleichfalls vorbeischlüpfen und zusammen mit 9 in eine zu der in Abb. 2 sichtbaren symmetrisch gelegene Stellung gelangen kann, in der er völlig aus dem Bereich des Schreibarmes kommt. Schlägt man nun die Hebel aus dieser Stellung nach vorn, so trifft jetzt der Haken 9

1) S. z. B. Perels Handb. d. landw. Maschinenwesens 1. Bd. I. S. 9, Fig. 2.

den Vorsprung, während umgekehrt wie oben, der voraneilende Haken 10 vorher vorbeigeschlüpft ist. Nachdem 9 den Vorsprung zur Seite geschoben, und damit das Uhrwerk in Gang gesetzt hat, kann er gleichfalls vorbeikommen und in die Stellung der Abb. 2 gelangen. Der ganze Vorgang wird im Prinzip dadurch ermöglicht, das die Haken sich auf einem grösseren Kreise bewegen, als der Vorsprung (17). Das Hin- und Zurückschlagen der Schalthebel kann man leicht durch eine etwa 1 m lange biegsame Welle bewirken, die auf den Drehzapfen 5 der Hebel gesteckt wird. Die beiden Endstellungen der Hebel sind durch Anschlagstifte festgelegt; ausserdem werden die Hebel durch eine in das Lager von 5 eingelegte Feder gegen die eine Wange des Lagerkörpers gedrückt, so dass die Reibung ein selbsttätiges Auslösen verhindert.

Die Versuche.

1. Die Eichung.

Die Eichung wurde in der für solche Zwecke gebauten Polikeitschen Prüfwage vorgenommen. Die Kraftmesserfeder erhält dabei eine vertikale Lage. Das obere Ende hängt an dem kurzen Arm eines in Schneiden gelagerten Wage-Hebelsystems mit Laufgewichtsbelastung, während das untere Ende mit der Kopföse einer Schraubenspindel gekuppelt ist, die durch Schnecke und Schneckenrad nach abwärts gezogen werden kann. Mit dem Laufgewicht kann die Wage verschieden belastet und durch Drehen der Schnecke unter Vermittelung und der Belastung gleichen Anspannung der Kraftmesserfeder zum Einspielen gebracht werden.

Bei der Eichung wurde der Schreibarm des Dynamometers mit einem Gegengewicht versehen, um ein einseitiges Durchhängen des Armes zu verhüten. Es ist einleuchtend, dass dann, wenn man den Kraftmesser vertikal aufhängt, das Gewicht des Schreibarmes, je nach der Aufhängung, entweder auf eine Verkleinerung oder auf eine Vergrösserung des Ausschlages hinwirken muss. Beim Gebrauch liegt die Feder horizontal, während der Schreibarm entweder nach der Seite oder nach unten gerichtet ist. Im ersteren Falle ist sein Gewicht ohne Einfluss auf den Ausschlag, im zweiten Falle besteht eine Einwirkung, die man aber wohl meistens vernachlässigen kann.

Die Belastung wurde stufenweise gemäss der folgenden Zusammenstellung gesteigert und nach Erreichung des Maximums ebenso vermindert. Eine Differenz bei Steigen und Fallen ergab sich nicht. Hingegen zeigten sich Abweichungen, je nachdem man den Kraftmesser so einhing, dass der Schreibarm abwärts wanderte oder so, dass er nach oben ging, Unterschiede, die wegfielen, wenn man den Kraftmesser bis zum Auftreten einer hinreichenden Spannung mit der Hand in vertikaler Lage hielt. Bei näherer Prüfung zeigten auch die beiden Burgschen Dynamometer des Maschinen-Laboratoriums diese Eigen-

tümlichkeit, nicht aber der Kraftmesser von Regnier[1]). Die Ursache der Erscheinung ist jedenfalls darin zu suchen, dass die Burg sche Feder verhältnismässig weite ösenartige Enden hat, in denen sich die dicken Haken infolge des schiefen Hängens verschieden einlegen können, während die Feder von Regnier spitzwinklig zuläuft, so dass sich die zugehörigen Hakenösen immer gleich einstellen müssen. Bei der geringen Breitenausdehnung der Fischbauchfeder können schon geringe seitliche Verschiebungen der Zugpunkte den Ausschlag verändern. Die beobachteten Differenzen betrugen etwa 10 %. Noch grösser sind die Veränderungen, wenn man zu breite Haken benutzt, die an zwei getrennten Stellen aufliegen und es ist zu beachten, dass diese Art der Auflagerung auch erst bei der Beanspruchung durch die Formänderung der Ösen auftreten kann. Um indessen diese Schwierigkeiten zu vermeiden, sollen späterhin die Federn nach Regnier gebogen und mit entsprechenden Haken ausgerüstet werden.

Die Proportionalität des Ausschlages mit der Kraft wurde durch die fraglichen Erscheinungen nicht wesentlich beeinträchtigt. Es ergaben sich bei senkrecht gehaltenem Kraftmesser folgende Eichungsskalen, von denen die erste bei aufwärts steigendem, die zweite bei abwärts steigendem Schreibarm genommen wurde (die Strecken sind von Stufe zu Stufe auf dem äussersten Schreibstiftkreise, welcher sich mit der Gradeinteilung deckt, gemessen):

Belastung . . . . *kg*	0	(50)	100	200	300	400	500	600	(650)	700
1. Ausschlagsdifferenz *mm*	0	(7,5)	15,0	14,5	14,0	14,0	13,5	13,5	(7,2)	14,0
2. „ „	0	(7,5)	15,0	15,0	14,0	13,5	13,5	14,0	(7,0)	14,5
Mittel-Ausschlagsdifferenz . . . *mm*	0	(7,5)	15,0	14,75	14,0	13,75	13,5	13,75	(7,1)	14,25

Die Abweichungen von der Proportionalität sind so gering, dass die daraus hervorgehenden Fehler vernachlässigt werden können.

2. Zug-Versuche.

Die Versuche mit dem Instrument sollten in erster Linie darüber Aufschluss geben, ob auch bei heftigen Erschütterungen ein richtiges Ablaufen zu erreichen sei. Es musste dies dadurch zu konstatieren sein, dass man den Kraftmesser, ohne das Uhrwerk arbeiten zu lassen, zwischen Zughaken und Wage eines Gefährtes zwischenschaltete. Unter dem Einfluss der Zugkraft läuft dabei die Rolle, die zweckmässig auf den äussersten Radius gestellt wird, hin und her. Ist nun der Ablauf irgendwo gestört worden, so muss dies darin zum Ausdruck kommen, dass die Skaleneinstellung der Rolle nach dem Versuch eine andere geworden ist als vorher. Ist dies nicht der Fall, so wird man annehmen dürfen, dass dann, wenn das Uhrwerk in Gang, der Integrator also in Tätigkeit gewesen ist, eine Verstellung der Skala nur durch den Integrationsvorgang und nicht durch fremde Einflüsse hervorgerufen

1) S. Rühlmann l. c. S. 156.

wird. Da eine möglichst wenig beschränkte Verwendbarkeit des Integrators erreicht werden sollte, so wurden die Versuche von vornherein unter den ungünstigsten Verhältnissen angestellt.

Das gezogene Gefährt waren Ackerwagen, die, um möglichst kräftige Erschütterungen zu erzeugen, auf einem mit Kopfsteinen gepflasterten Hof oder einer ebenso gepflasterten geraden Strasse herumgefahren wurde. Um den Zugwiderstand zu erhöhen, wurde, wenn der

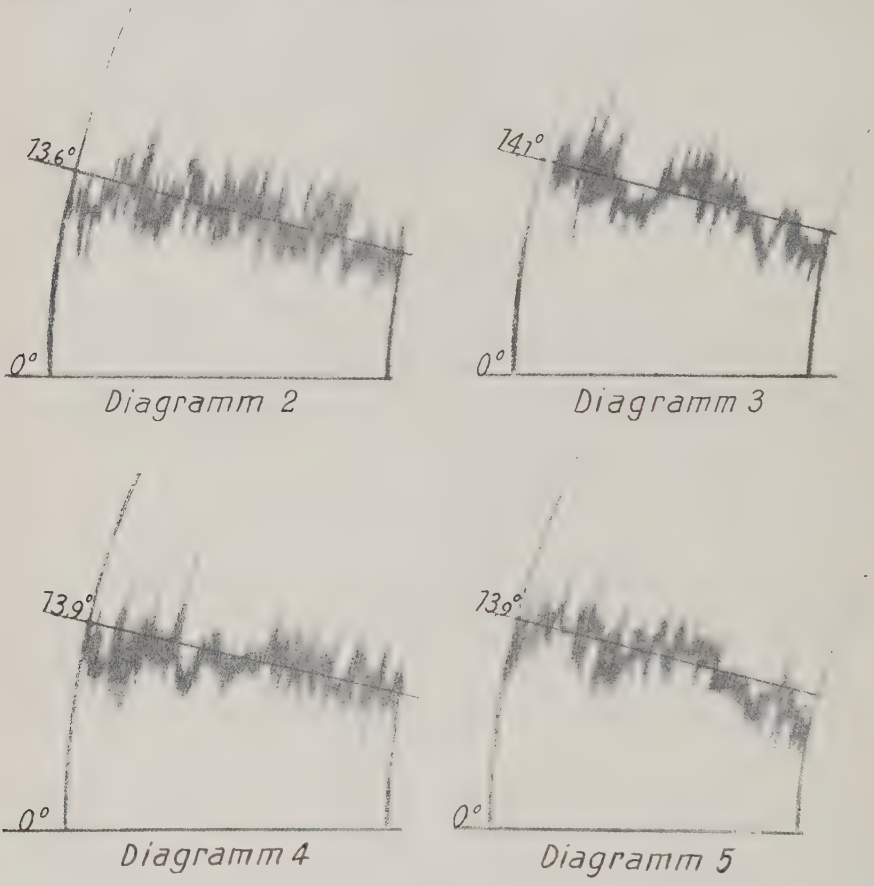


Abb. 36. Diagramme mit eingezeichnetem mittleren Winkelausschlag.

Wagen leer war, das eine Hinterrad durch einen zwischengesteckten Querbaum festgestellt, bei beladenem Wagen wurde das Schleifzeug fest angezogen.

Gebrüder Nagel in Halle-Trotha und Herr Rittergutsbesitzer Otto in Passendorf hatten die Güte, dazu wiederholt Gespanne zur Verfügung zu stellen, wofür ihnen auch an dieser Stelle besonders gedankt sei.

Die Versuche ohne Einschaltung des Uhrwerks sind in grosser Zahl ausgeführt worden. Hier mag von den Resultaten dieser Versuche nur das vorletzte und letzte angeführt sein. Es wurde die Stellung der Rolle abgelesen, eine gewisse Strecke abgefahren, wieder abgelesen und so fort.

1. 19. 8. 10. Wagen mit Steinen beladen, Schleifzeug angezogen, mit Kopfsteinen gepflasterte Strasse, Ochsengespann:

Befahrene Strecke in *m*:	0	130	70 umgewendet	280+80 *m* Sommerweg	100	umgewendet	= etwa 600 *m*
Zugehörige Ablesung der Rollenskala . .	48,7	48,7	48,7	48,7	48,7	48,7	

2. 23. 8. 10. Wagen mit Getreide beladen, Schleifzeug angezogen, Hofpflaster, Ochsengespann:

Befahrene Strecke in *m*:	0	90	200 + 50 *m* über Schotter	= 290 *m*
Zugehörige Ablesung der Rollenskala	28,5	28,5	28,5	

Mittlere Kraft 175 *kg* (nach Tab. II), Maximum 565 *kg*.

Zu dem letzten Protokoll ist noch zu bemerken, dass die Bestimmung der mittleren Kraft nur auf horizontalem Weg geschah, während das Maximum für das Heraufziehen des Wagens aus einem tiefer gelegenen Standort gilt. Dieses letztere ist in den zuerst befahrenen 90 *m* mit enthalten. Die Versuche ergaben, dass auch unter sehr ungünstigen Verhältnissen ein zuverlässiges Abrollen zu erzielen ist. Eine zweite Frage war, ob bei dem hierzu erforderlichen Anpressungsdruck das Uhrwerk noch imstande sein würde, nicht nur den

Tabelle I.

Nr. des Versuchs	Stellung der Schraube *f*	Wege in *mm* von der 1.—30. Sek.	31.—60. Sek.	61.—90. Sek.	Mittel *mm*	Mittlere Fehler	Zeit für 1 *cm* Weg in Sek.
1	3 Windungen heraus	15,0	14,5	13,5	14,3	± 0,6	21,0
2	$^1/_2$ Windung fester .	14,0	14,2	13,8	14,0	± 0,2	21,4
3	1 Windung fester. .	13,2	13,5	13,2	13,3	± 0,1	22,5
4	$1^1/_2$ Windung fester.	12,7	12,2	12,2	12,4	± 0,2	24,1

beträchtlichen Gleitwiderstand der Rollen gegen eine Verschiebung in ihrer Achsrichtung zu überwinden, sondern auch eine gleichmässige, der Zeit proportionale Bewegung von Anfang bis zum Ende aufrecht zu erhalten. Auch diese Forderung konnte nach Überwindung einiger Schwierigkeiten erfüllt werden. Das alte Burgsche Dynamometer hat einen Bleistiftweg von 35 *mm* zur Verfügung, der in vier Minuten zurückgelegt wird, das durch P. Polikeit verbesserte Instrument hat

Tabelle II.

Nr.	Befahrene Strecke			Ablesung			
	Art	Länge *m*	Zeit Sek.	der Rollenskala vor	der Rollenskala nach	der Schlittenskala vor	der Schlittenskala nach
	A., d. 13. 7. 10. Trotha. Ackerwagen, leer. Ein Hinter-						
1	1. Sommerweg	—	—	34,0	41,1	—	—
2	2. „ hin . . .	—	—	39,9	50,1	—	—
3	2. „ zurück .	—	—	51,9	1,0	—	—
4	2. „ hin . . .	—	103	46,9	56,6	—	—
5	2. „ zurück .	—	95	57,7	6,9	—	—
	B., d. 19. 8. 10. Trotha. Ackerwagen, mit Steinen beladen,						
6	2. Sommerweg zurück .	—	80	48,7	53,3	0,34	3,97
7	2. „ hin . . .	—	30	26,6	28,0	0,00	1,33
8	2. „ zurück .	—	79	52,2	56,0	0,00	3,40
9	1. „ hin . . .	—	73	50,4	57,6	0,40	3,64
10	1. „ zurück .	—	64	22,4	28,6	0,03	2,80
	C., d. 23. 8. 10. Passendorf. Ackerwagen, mit Getreide beladen. Schleifzeug und Eich-						
11	1. Hofseite	—	60	28,5	38,2	0,00	3,04
12	3. „	—	58	56,0	3,6	0,00	3,01
	D., d. 23. 8. 10. Passendorf. Sackscher						
13	. . . . .	72,4	83	0	15,8	0,00	4,00
14	. . . . .	66,8	83	22,2	38,7	0,00	4,20
15	. . . . .	54,9	80	2,0	23,8	0,00	3,91

einen Weg von 56 *mm*, zurückgelegt in 3 Minuten. Mit Integrator hatte dieses Instrument bei den letzten Versuchen einen Bleistiftweg von 42 *mm*, zurückgelegt in 83 Sekunden. Die dabei vorhandene Geschwindigkeit ist so gross, dass man schon Einzelheiten des Diagramms erkennen kann. 1 *m* Weg entspricht ungefähr 1 *mm* Schreiberweg. Die Geschwindigkeit ist im wesentlichen von der Form des Windfanges am Uhrwerk abhängig. Durch eine andere Biegung lassen sich andere Geschwindigkeiten erzielen. Es ist auch möglich, das Instrument mit einem regulierbaren Windfang auszurüsten, so dass die Schreibergeschwindigkeit beliebig eingestellt werden kann. Sie ist in geringen Grenzen abhängig von dem Anpressungsdruck der Integratorrollen, wie aus folgender Zeitprobe hervorgeht. Das Uhrwerk wurde in Gang gesetzt und in Absätzen von je einer halben Minute arretiert. Nach jeder Arretierung wurde durch Ausschwingen des Schreibarmes ein

Tabelle II.

Rollendrehung in $^1/_{60}$	Schlittenweg in *cm*	Mittlerer Winkel in Grad	Mittlere Kraft in *kg*	Zeit für 1 *cm* Schlittenweg in Sek.	Bemerkungen
rad festgestellt. 2 Ochsen. Horizontale Strasse.					
7,1	3,4	12,5	168	—	Bei diesen Versuchen war die Schlittenskala noch nicht vorhanden. Die Bewegung des Schlittens war gegen Schluss langsamer als am Anfang
10,2	4,5	13,6	181	—	
9,1	3,9	14,1	191	—	
9,7	4,2	13,9	188	24,5	
9,5	4,1	13,9	188	23,1	Der Schlittenweg wurde am Diagramm gemessen.
Schleifzeug angezogen. 2 Ochsen. Strasse wie oben.					
4,6	3,63	7,6	95	22,0	
1,4	1,33	6,3	75	22,5	
3,8	3,40	6,7	80	23,2	
7,2	3,24	13,5	183	22,5	Sommerweg, neu aufgeschüttet
6,2	2,77	13,5	183	23,1	
angezogen. 2 Ochsen, gepflasterter Hof. (Am Kraftmesser andere Nullstellung skala)					
9,7	3,04	19,2	175	19,7	
7,6	3,01	15,1	110	19,2	
Pflug auf Weizenstoppel. 4 Ochsen.					
15,8	4,00	23,6	240	20,7	} Tiefgang etwa 20 *cm*
16,5	4,20	23,6	240	19,7	
21,8	3,91	23,4	400	20,4	Tiefgang etwa 28 *cm*

Strich gezogen. Dieser Versuch wurde mit vier verschiedenen Spannungen der Andrückefeder *u* (Fig. 2 und 3) vorgenommen.

Beim ersten Versuch war die Federspannung zu schwach, beim zweiten und dritten brauchbar, beim vierten überflüssig stark. Die Tabelle I enthält das Resultat.

Hieraus ergibt sich, dass die Reibung der Rollen die Geschwindigkeit etwas verlangsamt, sie aber auch gleichmässiger macht und, dass das Uhrwerk auch für sehr starke Anspannung der Feder ausreicht. Auch aus der vorletzten Spalte der Tabelle II. ist auf einen gleichmässigen Gang des Uhrwerkes zu schliessen. Hier allerdings muss man noch berücksichtigen, dass bei den Versuchen die Zeitbestimmung auf Zuruf durch einen Gehilfen erfolgte, während der Verfasser das Uhrwerk ein- und ausschaltete, wobei naturgemäss leicht ein Fehler von

einer bis zwei Sekunden und damit im ungünstigsten Falle eine Differenz von zwei bis vier Sekunden zustande kommen konnte.

Die Tabelle II enthält die Resultate der Kraftmessungen. Abb. 5 zeigt die Diagramme der Versuche 2 bis 5.[1]) Die eingezeichneten Querstriche geben den mit dem Integrator erhaltenen mittleren Winkel an. Die meisten Strecken, auf denen Kraftmessungen vorgenommen wurden, sind mehrere Male befahren worden; beim Pflügen wurden nebeneinanderliegende Streifen gewählt. Die Übereinstimmung der Resultate bei solchen Wiederholungen ist auffallend. Die Vergleichung der entsprechenden Diagramme befestigt dabei den Eindruck, dass es sich nicht um Zufallsergebnisse handelt, dass vielmehr wirklich aus den immerwährenden Kraftschwankungen und Stössen schliesslich ein übereinstimmender Mittelwert hervorgeht und durch den Integrator zuverlässig registriert wird[2]). Es sei noch hinzugefügt, dass bei der letzten Versuchsserie zur Probe eine Strecke von etwa 175 *m* ohne Uhrwerkseinschaltung befahren und keine Verstellung der Rolle dabei konstatiert wurde.

Man wird nach alledem wohl sagen dürfen, dass das Instrument auch unter den so ungünstigen Verhältnissen, wie sie bei landwirtschaftlichen Zugkraftmessungen vorliegen, zuverlässig arbeitet, und dass es bei Kraftmessungen, bei denen weder auf genaue Wegregistrierung, noch auf ein in allen Einzelheiten klares Diagramm Wert gelegt wird, gute Dienste zu leisten imstande ist.

B. Ein integrierender Zugkraftmesser mit Laufrad- oder Uhrwerksantrieb.

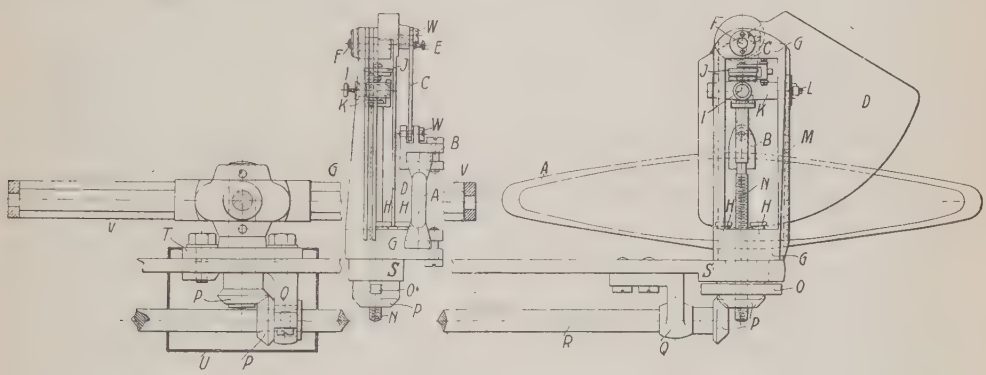
Man wird, wenn man strengere Anforderungen stellt, dem Burg schen Dynamometer immer vorhalten müssen, dass die Basis des Diagramms von der Zeit und nicht vom Wege der Kraft abhängt. Dieser Mangel ist im Wesen des Instrumentes begründet, die charakteristische Eigentümlichkeit jedoch, auf welcher die Wirkung des Integrators beruht, dass die Kraft dem Winkelausschlag proportional ist, und der Radius die Basis des Diagramms bildet, lässt sich auch mit einer Wegregistrierung vereinigen. Das ist bei dem im folgenden beschriebenen Instrument projektiert.

Während beim Burg schen Instrumente die Schreibplatte feststeht und der Schreibstift mit der Rolle auf ihr herumgeführt wird, ist die neue Anordnung so getroffen, dass der früher schwingende Schreibarm festgestellt wird, während die nun möglichst leicht ausgebildete Platte an einem Zapfen gelagert unter dem Einfluss der Kraft die Winkeldrehungen ausführt. So ist es sehr einfach, die radiale Verschiebung

1) Die übrigen Diagramme gewähren genau das gleiche Bild.

2) Eine experimentelle Bestimmung der erreichbaren Genauigkeit soll später noch vorgenommen werden.

von Bleistift und Rolle irgendwie zu bewirken, sei es durch ein Laufrad, sei es auch, wie früher, durch ein Uhrwerk, während die Drehung der Rolle durch die schwingende Platte bewirkt wird. Abb. 37 stellt das neue Instrument, von oben und von der Seite gesehen, dar. Die Feder ist nach Regnier gebogen. An dem einen Schenkel sitzt, seitwärts herausgebaut, das Lager für die Schreibplatte, die ohne Vermittlung eines besonderen Hebels an einem kurzen Arm direkt durch eine von dem anderen Federschenkel her kommende Stange, der Zugkraft entsprechend, gedreht wird. Die Platte wird aus 2 *mm* starkem Aluminiumblech gefertigt und mit (nicht gezeichneten) Federklemmen für das Papier versehen. Ihr einseitiges statisches Moment wird bei der Eichung durch ein Gegengewicht ausgeglichen. Beim Gebrauch ist dies nicht erforderlich, weil dabei die Achse vertikal steht. Der Lagekörper greift rahmenförmig über die Platte hinweg. Über derselben hat er eine Schlitten-



Zeichenerklärung.

A Feder nach Regnier, *B* Backe, *C* Schubstange, *D* Schreibplatte, *E* Mittelpunktsmarkierstift, *F* Zapfen der Schreibplatte, *G* Lagekörper mit Schlittenführung, *H* Plattenführungsrollen, *I* Schreibstift, *J* Integrator, *K* Schlitten, *L* Skalenzeiger, *M* Skala, *N* Transportspindel, *O* Transportmutter, *P* 2 Kegelradpaare, *Q* 2 Lagerkörper, *R* Transportwelle, *S* Haltearm, *T* Körper zum Verspannen des Lagers *Q* *U* Schutzkappe, *V* Laufrad, *W* Achsenschrauben.

Abb. 37. Integrierender Kraftmesser mit Laufrad-Antrieb.

führung, in der der Schlitten mit Bleistift und Integrator verschieblich ist. Die Verschiebung wird durch eine Schraubenspindel bewirkt, die mit ihrem Ende am Schlitten befestigt ist. Sie wird durch die Drehung einer Mutter gezogen, die an dem nach dem Rande der Platte gelegenen Ende der Schlittenführung gelagert ist. Die Drehung der Mutter endlich wird durch das Laufrad bewirkt. Es sei bemerkt, dass die notwendige Schwingbarkeit der vom Laufrad heraufführenden Welle nicht, wie bisher üblich, durch ein Universalgelenk, sondern durch ein Kegelradgelenk bewirkt wird, über das besonders berichtet ist.[1]) Die Mutter ist zweiteilig und ermöglicht es, die Spindel dann, wenn sie bis

1) Diese Zeitschrift, Jahrgang 1911, S. 7.

ans Ende gelaufen ist, mit einem einfachen Handgriff wieder in die Anfangsstellung zu schieben. Am Ende schaltet sich der Transport selbsttätig aus. Der Gesamtschreiberweg beträgt 80 *mm* und ist für einen Weg von etwa 80 *m* bestimmt. Dabei kann man schon Einzelheiten des Kraftverlaufes gut erkennen.

Die Auswertung von Einzelkräften, die beim Burgschen Kraftmesser umständlich ist, gestaltet sich hier sehr einfach. Die Schreibung beginnt schon verhältnismässig nahe am Mittelpunkt der Platte, d. h. am Koordinatennullpunkt des Diagramms. Man kann daher, ohne dass dies lästig fällt, das Papier als vollständigen Kreissektor bis zum Mittelpunkt fortsetzen und diesen mit Hilfe einer über der Achse angeordneten Nadel markieren. Die Nullachse markiert sich mit Hilfe des Schreibers dadurch, dass man die Platte mit dem auch hier vorgesehenen Ableseanschlag gegen den Lagerkörper andrückt. Mit Hilfe der beiden Marken und des Eichungsdiagramms ist man in der Lage, die Grösse jeder Einzelkraft durch Anlegen eines Lineals an den Mittelpunkt und an den betreffenden Diagrammpunkt ohne besondere Zurüstung zu bestimmen. Das Verfahren wird ebenso einfach, wie bei einem in rechtwinkligen Koordinaten geschriebenen Diagramm, wenn man sich die Eichung auf eine sektorförmige Scheibe so überträgt, dass die Nullachse durch den einen radialen Rand des Sektors gebildet wird und die am Kreisrand anzuzeichnenden Eichungsmarken in entgegengesetzter Richtung gehen als die Schreiberbewegung auf den Messungsdiagrammen. Man hat dann nur nötig, das Eichungsdiagramm so auf das Messungsdiagramm zu legen, dass die Mittelpunkte sich decken und die Nullkante des Eichungs- durch den auszuwertenden Punkt des Messungsdiagramms geht. Dann gibt die Nullachse des Messungsdiagramms, die man sich leicht durch Umkniffen des Papieres in ihrer ganzen Länge herstellen kann, auf dem Eichungsdiagramm die gesuchte Kraft an.

Der Integrator ist hier ebenso abzulesen und die Ablesung ebenso zu verwerten, wie beim Burg. Natürlich verstellt sich jetzt, da die Schlittenbewegung vom Mittelpunkt nach aussen führt, die Rolle in entgegengesetztem Sinne wie vorher.

Obwohl das Instrument von vornherein für den Laufradantrieb gedacht ist, kann es doch auch, wenn mit Rücksicht auf ein bequemeres Arbeiten dies zweckmässig erscheint, mit einem Uhrwerk versehen werden. Zu diesem Zwecke ist der Haltearm des Laufrades und das auf der Schraubenspindel sitzende Kegelrad mit der geteilten Mutter leicht abnehmbar eingerichtet. Die Körper werden gemeinschaftlich durch einen geteilten Ring auf dem Lagerstück gehalten. Wird der Ring abgeschraubt, so können sie herabgezogen und durch ein Uhrwerk ersetzt werden. Dasselbe ist vollständig eingekapselt und kann infolgedessen nicht so leicht verschmutzen, wie das Uhrwerk des Burgschen Kraftmessers. Für die übrigen Teile der Registriervorrichtung ist ein flacher Schutzkasten aus Aluminiumblech vorgesehen. Es mag noch hinzugefügt werden, dass das Gewicht des Lagerkörpers mit der Schreib-

platte einerseits und der Triebmechanismus andererseits sich gegen die Längsmittellinie der Feder ungefähr im Gleichgewicht halten, so dass ein Schiefhängen des Kraftmessers vermieden wird[1]).

Das ganze Instrument ist mit Uhrwerk kaum schwerer, als das Burgsche Dynamometer. Mit dem Laufrad ist es erheblich billiger als jenes und genügt auch streng wissenschaftlichen Anforderungen dann, wenn ein weitläufig geschriebenes oder ein sehr langes Diagramm nicht erfordert wird.

1) Es sei hier bemerkt, dass in der Ausführung das Laufrad abweichend von Abb. 37 seitlich der Zuglinie zu liegen kommt.

Anmerkung: Während des Druckes der obigen Arbeit wurde mir durch Herrn P. Polikeit ein Burgscher Kraftmesser der Prüfungsstation in Hohenheim zugeschickt, an dem sich ein Integrator befindet. Der Kraftmesser ist von älterer Bauart (Kraft u Sohn, Wien) und scheint gleich von vornherein mit Integrator ausgerüstet gewesen zu sein.

Der Erfinder des Integrators ist durchaus von der Morinschen Anordnung ausgegangen und hat diese nur der Burgschen Registrierweise entsprechend umgeändert. An dem Schlüsselzapfen des Uhrwerks sitzt eine geteilte Kreisscheibe, die sich mit dem Uhrwerk gleichförmig dreht. Auf ihr liegt, durch eine Feder leicht angedrückt, eine wie beim Amslerschen Polarplanimeter ausgebildete, in einem Rahmen gelagerte Messrolle mit Skaleneinteilung und Umdrehungszählwerk Der Rahmen ist an der Deckplatte des Kraftmessers befestigt. Wenn nun der Zeiger des Instruments ausschlägt, so geht die Kreisscheibe mit, während die Rolle stehen bleibt. Auf diese Weise wird die Stellung der Rolle gegen den Mittelpunkt der Scheibe und der Winkel der Rollenachse mit dem vom Scheibenmittelpunkt nach dem Berührungspunkt gehenden Radius geändert. Je nach der Stellung erteilt nun die Scheibe der Rolle eine verschieden grosse Umdrehungsgeschwindigkeit. Sie ist Null, wenn der Winkel oder der Radius Null ist. Offenbar beschreibt die Rolle relativ zur Scheibe einen Kreisbogen, dessen Mittelpunkt der Drehpunkt des Zeigers ist. Ist die Achse der Rolle tangential zu diesem Kreisbogen gestellt, und geht derselbe durch den Mittelpunkt der Scheibe, so ist der für die Umdrehungszahl der Rolle massgebende, auf der Scheibe gemessene Radius mit grosser Annäherung dem Ausschlag des Zeigers proportional, während der Winkel stets nahezu ein Rechter ist. Wenn daher der Ausschlag des Zeigers der Kraft proportional gemacht wird, so könnte man auf die gekennzeichnete Weise eine hinreichend genaue Integration ausführen. Das Instrument zeigt jedoch von dieser Anordnung eine Abweichung, die, wie es scheint, in der Absicht zustande gekommen ist, die mangelnde Proportionalität des Ausschlages durch den Integrator auszugleichen, die aber infolge eines merkwürdigen Fehlers gerade das Gegenteil bewirkt hat.

Die Achse der Rolle steht nämlich nicht tangential zu dem Kreisbogen, sondern in einem Winkel von ungefähr 35° (entgegen dem Uhrzeigersinn), und der Kreisbogen geht nicht durch den Mittelpunkt der Scheibe, in dem übrigens der Schlüsselzapfen sitzt, sondern zwischen ihm und dem Kreisbogen-Mittelpunkt in einem Abstande von etwa $^1/_3$ Scheibenradius vorbei. Infolgedessen wird der wirksame Radius überhaupt nicht Null, während der Winkel in einer Stellung Null wird, die dem Anfang des Kreisbogens näher liegt als dem Ende. Hier wird also die Umdrehungszahl der Rolle zu Null. Es ist dabei hervorzuheben, dass Anfangspunkt und Endpunkt, die den Kräften 0 und 900 *kg* entsprechen, nahezu am Scheibenrand einander gegenüber liegen, und dass infolge dieser Lage die Umdrehungsgeschwindigkeiten in beiden Stellungen einander entgegengesetzt gleich sind. Wenn nun die Nullstellung der Rolle dem Anfang näher liegt, so kann man schon hieraus erkennen, dass so unmöglich ein Ausgleich der mangelnden Proportionalität

des Zeigerausschlages erzielt werden kann, da bei gleichem Kraftzuwachs der entsprechende Ausschlag mit grösserer Kraft immer kleiner wird, so dass der Zeiger bei 450 *kg* Zugkraft schon ungefähr $^2/_3$ des Bogens von 0 bis 900 *kg* zurückgelegt hat. In der Tat ergab denn auch eine Nachprüfung der Umdrehungszahl der Rolle, dass bei einer Drehung der Scheibe um 20 Skalenteile, von 100 *kg* auf 200 *kg*, eine Zunahme der Umdrehungszahl um 10 Teile, von 800 bis 900 *kg* dagegen nur eine Zunahme von 4,5 Teilen stattfindet. Man hätte dagegen wirklich einen Ausgleich erzielen können, wenn die Schwenkung der Rollenachse in dem Uhrzeigersinn erfolgt wäre. Dann nämlich liegt die Nullstellung dem Kreisbogenende näher als dem Anfang.

Etwas praktisch Brauchbares wäre freilich auch dann nicht zustande gekommen, da die Vorrichtung infolge ihres Prinzips alle Fehler der Morinschen Anordnung mit enthält.

Druck von Gebr. Unger in Berlin, Bernburger Strasse 30.